

7

58^e jaargang

NATUUR '90 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



WINDKRACHT VOOR DE GROTE VAART

BLOEMKLEURMANIPULATIE / ELEKTRISCHE OERTIJD / LIJMEN /
BEGRAZING

EEN COMBINATIE VAN
CULTUURREIZEN NAAR HET

MIDDEN-OOSTEN

begeleid door drs A.H.J. Baron Schimmelpenninck van der Oije en drs R.A. Hoogland



Deze reizen naar Egypte, de Sinaï, Jordanië en Israël in oktober 1990 worden door NATUUR & TECHNIEK georganiseerd in samenwerking met Stichting AVICULA ter bevordering van Natuur Cultuurreizen en staan beschreven in het februari-nummer van dit blad.

Een gratis brochure van de reizen kan vrijblijvend worden aangevraagd bij:

Natuur Cultuurreizen,
antwoordnummer 1762
7550 VB HENGEL

telefoon (074) 47 88 82

NIRIA: BEROEPSORGANISATIE VOOR HBO-INGENIEURS

De Nederlandse Ingenieursvereniging NIRIA is de beroepsorganisatie van HBO-ingenieurs. Studenten kunnen vanaf het eerste studiejaar lid worden tegen een sterk gereduceerde contributie (in 1990 f 60,- en f 177,50 voor 'gewone' leden).

Kennisoverdracht is een belangrijke NIRIA-activiteit. Dat gebeurt door studiedagen e.d. en door het uitgeven van vaktijdschriften.

NIRIA-leden kunnen kiezen tussen de 12-tijdschriften Elektrotechniek/Elektronica, Werktuigbouwkunde en Procestecnologie, het bedrijfskundig vakblad B&id, De Bouwadviseur, Land+Water/Milieutechniek en Landbouwkundig tijdschrift. Ieder lid ontvangt zonder extra kosten het algemene ingenieursvakblad **DE INGENIEURSKRANT** en maandelijks het NIRIA-Nieuws en het gekozen vakblad.

Belangenbehartiging is de tweede hoofdtaak van NIRIA. NIRIA onderzoekt de maatschappelijke positie, weet alles van salarissen en arbeids-contracten en zorgt voor erkenning van het diploma in binnen- en buitenland. Ook bestaat er een banenbank: NIRIA-Ingenieursaanbod.

Vraag meteen een aanmeldingsformulier en stuur de bon portvrij op naar NIRIA, Antwoordnummer 473, 2508 VB DEN HAAG.



Nederlandse Ingenieursvereniging

Postbus 84220
2508 AE Den Haag
Telefoon (070) 352 21 41

NATUUR '90 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 10,95 of 215 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

Bij de omslag



Dit zeiljacht is getuigd met het zogenaamde Walker Wingsail. Alhoewel dit zeil geen groot oppervlak lijkt te hebben, kan deze constructie de windkracht veel efficiënter benutten dan conservatieve zeilen. In het artikel op pag. 528 beschrijft J.D. van der Baan recente ontwikkelingen in de zeiltechnologie.

(Foto: Walker Wingsail Systems PLC, Hampshire).

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek,
Drs E.J. Vermeulen.

Redactiesecretariaat: R.A. Bodden-Welsch, Drs L.P.J. Slangen.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 04759-1305.

Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Drs G.P.Th. Kloeg,
A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israël, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluysen, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur & Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk: VALKENBURG OFFSET BV, Echt (L.). Tel.: 04754-81223.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Voor België:
Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel. Tel.: 0(0-31)43 254044.

Fax: 0(0-31)43 216124.

Voor nieuwe abonnementen: 0(0-31)43 254044 (tot 21.00 uur, óók in het weekend).

EURO
ARTIKEL

notu vak

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

INHOUD

SIMULATICA/Spanningsvelden	IV
AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL/Oude technieken	527

WINDKRACHT VOOR DE GROTE VAART	528
---------------------------------------	-----

J.D. van der Baan

Euwenlang was de wind de stuwende kracht van de scheepvaart, tot in de 19e en 20e eeuw modernere energiebronnen voor scheepsvortstuwning, stoom en later diesel, de overhand kregen. Alleen in de watersport bleef het gebruik van zeilen favoriet. Sinds de energiecrisis aan het begin van de jaren zeventig staat het gebruik van wind, als voortstuwingsmiddel van schepen in de beroepsvaart, echter weer in de belangstelling. De motivatie voor het ontwikkelen van een moderne zeiltechnologie komt inmiddels niet alleen maar voort uit economische, maar ook uit milieu-overwegingen.



BLOEMKLEURMANIPULATIE	540
------------------------------	-----

Florissante technieken

Jos Mol

De bloem is de bekroning van een plant. Voor alles herbergt zij echter de geslachtsorganen van de plant. Gekleurde bloembladeren oefenen een grote aantrekkingskracht uit op bestuivers en vervullen aldus een belangrijke functie in de bloembioologie. De instructies voor de aanmaak van bloemkleurstoffen liggen in genen op het DNA. Nu het mogelijk is nieuwe genen aan een plant te geven of bestaande uit te schakelen, zijn bloemenkleuren extra aantrekkelijk geworden voor genetici. De effecten van hun experimenten kunnen zij aan een bonte ruiker beoordelen.



NATUUR '90 & TECHNIEK

juli/ 58^e jaargang/1990



DE ELEKTRISCHE OERTIJD

552

Stroom en magnetisme in de 19e eeuw

W. Boelhouwer

Toen Volta rond 1800 de eerste primitieve batterij samenstelde, kwam een nieuwe klasse elektrische verschijnselen binnen het gezichtsveld van de fysici: 'de werkingen der galvanische stromen'. Aan het begin van de 19e eeuw boekten de natuurkundigen bij hun onderzoek van de elektrische stromen maar weinig vooruitgang. Tegenwoordig kent iedereen begrippen als stroomsterkte, spanning en weerstand. Voordat het zover was, hebben vele fysici betrouwbare meetinstrumenten ontwikkeld en de juiste eenheden vastgesteld.



LIJMEN

564

Molekulen met een hechte band

E.H.P. Logtenberg

Lijmen is een moderne verbindingstechniek die haar wortels heeft in de prehistorische pottenbakkerij. De oude Egyptenaren gebruikten lijm voor het fineren van panelen. Zij kenden het sap van acacia's als lijm, de tegenwoordige arabische gom. In de vorige eeuw verschenen achtereenvolgens rubberachtige en fenolachtige lijmen op de markt. De opkomst van de moderne lijmen, zoals polyesters, epoxy's en acrylaten, begint rond 1930. Vanaf de jaren zestig heeft het lijmen voor hoogwaardige toepassingen een hoge vlucht genomen.

BEGRAZING

572

Van stal gehaald voor natuurbeheer

Henk Hillegers

Binnenkort dreigt de veehouderij in Noordwest-Europa zo intensief te worden dat het vee permanent in ligboxen wordt opgesloten. Het al eeuwenlang zo vertrouwde beeld van koeien in een weiland zal verdwijnen, zoals het beeld van de schaapherder en zijn kudde al tot het verleden behoort. Sinds kort hebben natuurbeschermende instanties beweiding heronderd en passen zij het steeds meer toe, zij het in extensieve vorm. Het blijkt een uitstekende manier om bloemrijke graslanden in hun oude glorie te herstellen of nieuwe natuurwaarden te scheppen.



ANALYSE EN KATALYSE
Een Echternachse processie

586

ACTUEEL/BOEKEN

594

PRIJSVRAAG

598

SIMULATICA

Prof dr
H. Lauwerier

Spanningsvelden

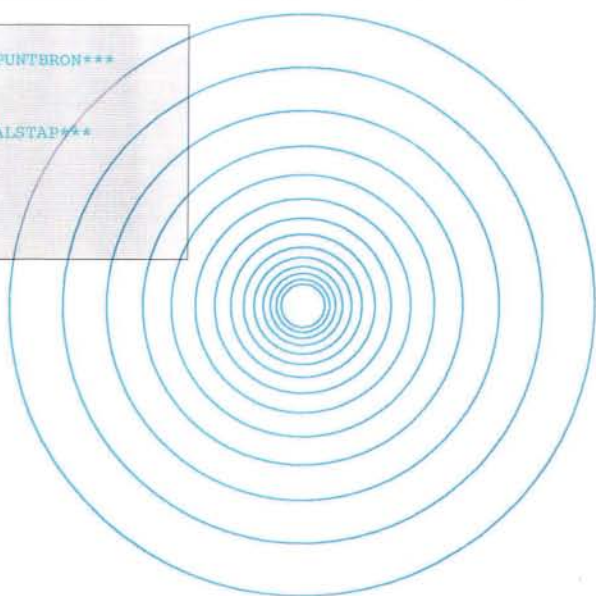
Velen van ons kennen ongetwijfeld die leuke natuurkundige experimenten die ook in de huiskamer kunnen worden vertoond en waarbij niet veel meer nodig is dan een vel papier, wat ijzervijlsel en een magneet. Met deze hulpmiddelen kunnen we onzichtbare krachtlijnen zichtbaar maken. Nu we een computer tot onze beschikking hebben, zijn we in staat om dergelijke experimenten veel mooier en uitvoeriger uit te voeren. In het bijzonder richten wij onze aandacht ditmaal op een aantal puntladingen dat een elektrisch veld in een vlak genereert. Omdat er straks toch gerekend moet worden, denken we dat vlak voorzien van een Cartesisch coördinatenstelsel. Dit coördinatenstelsel is ontwikkeld door René Descartes (1596-1650). Het maakte het mogelijk lijnen, vlakken en vormen in wiskundige formules samen te vatten. In een vlak kan de plaats van een punt P ten opzichte van een gekozen oorsprong O worden weergegeven met twee coördinaten x en y . De af-

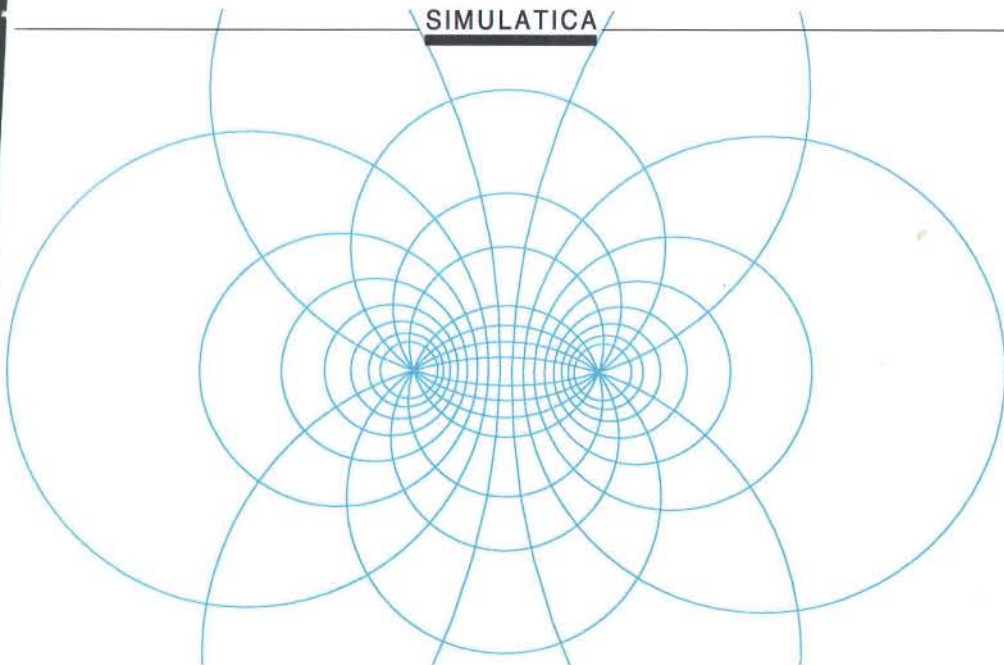
stand x is gelijk aan de afstand van P tot de y -as. De x - en de y -as maken gewoonlijk onderling een loodrechte hoek. Driedimensionaal werkt dit systeem met drie assen.

De puntladingen plaatsen we gemakshalve binnen het eenheidsvierkant en de ladingen nemen we in de orde van enkele eenheden. De potentiaal u die een eenheidslading in de oorsprong veroorzaakt in het punt P is gelijk aan $\log(OP)$. Daarbij negeren we een evenredigheidsfactor $1/(2\pi)$. Het is duidelijk dat de potentiaallijnen cirkels om O zijn. De corresponderende stroomlijnen staan daar loodrecht op en zijn dus de voerstralen door O. Bij het maken van een plaatje is het handig een aantal potentiaallijnen te tekenen waarbij u telkens een vast bedrag verschilt. We zien dan dat de potentiaallijnen steeds dichter bij elkaar liggen naarmate we de oorsprong naderen. Met het programma POTVELD1 kunnen we de computer dit laten vertonen. Het potentiaalverval van twee opeenvolgende potentiaallijnen

```
10 REM ***POTENTIALVELD VAN EEN PUNTRON***
20 REM ***NAAM: POTVELD1***
30 SCREEN 12 : CLS
40 WINDOW (-4,-3)-(4,3)
50 H=.2 : REM ***GROOTTE POTENTIALSTAP***
60 K=-4
70 R=EXP(-K*H)
80 CIRCLE (0,0),R
90 IF R>.2 THEN K=K+1 : GOTO 70
100 END
```

De afstand tussen twee potentiaallijnen neemt toe met de afstand tot de oorsprong.





kunnen we daarbij willekeurig kiezen.

De berekening van een potentiaalveld dat twee puntbronnen veroorzaken, is al iets ingewikkelder. Als de eerste puntbron met lading q_1 zich bevindt op het punt P_1 en de tweede puntbron met lading q_2 is geplaatst op P_2 , dan wordt de sterkte van het potentiaalveld in een willekeurig punt P bepaald door de vergelijking:

$$u(P) = q_1 \log(PP_1) + q_2 \log(PP_2)$$

De computer heeft gelukkig met deze functie totaal geen moeite. Het is echter een heel ander probleem om hieruit de vorm van de potentiaallijnen af te leiden. We komen daar aanstonds op terug, maar eerst bekijken we twee speciale gevallen.

Wanneer de ladingen tegengesteld zijn met gelijke grootte, bijvoorbeeld $+1$ en -1 , dan blijken de potentiaallijnen cirkelvormig te zijn. Daarbij is op een bepaalde potentiaallijn de verhouding PP_1/PP_2 constant. Volgens een beroemd klassiek resultaat uit de Grieks-Hellenistische periode is de potentiaallijn in dit geval een zogenaamde cirkel van Apollonius. De potentiaallijnen vormen met elkaar dan een cirkelbundel. De stroomlijnen zijn eveneens cirkels die de twee punten P_1 en P_2 beide snijden. Het programma POTVELD2 tekent een aantal potentiaallijnen en stroomlijnen als elkaar loodrecht doorsnijdende cirkels op de monitor.

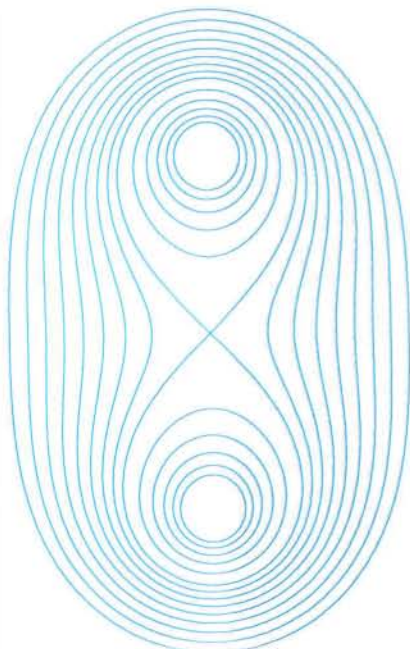
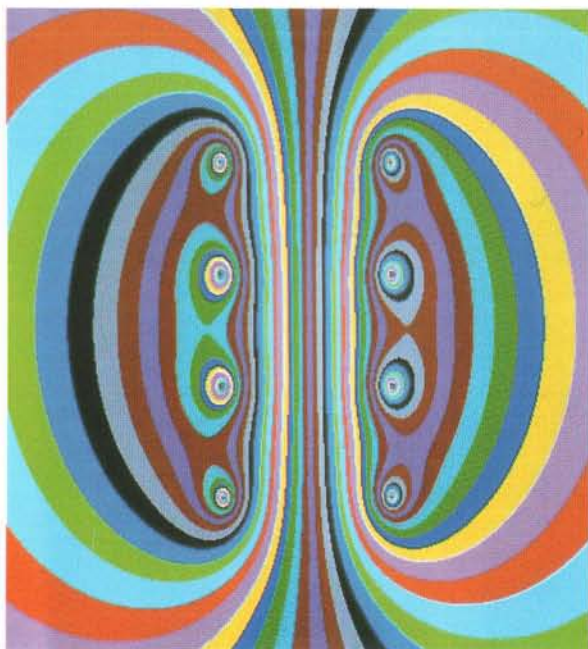
```
10 REM ***POTENTIAALVELD VAN TWEE TEGENGESTELDE
    PUNTLAGINGEN***
20 REM ***NAAM: POTVELD2***
30 SCREEN 12 : CLS : PI=3.141593
40 WINDOW (-4,-3)-(4,3)
50 PSET (-1,0) : PSET (1,0)
60 H=.5 : FOR M=-8 TO 7
70 C=EXP(M*H+H/2)
80 A=(1+C)/(1-C) : R=2*SQR(C)/ABS(1-C)
90 CIRCLE (A,0),R
100 NEXT M
110 FOR N=-4 TO 4 : F=N*PI/10
120 IF N<>0 THEN B=COS(F)/SIN(F) ELSE GOTO 140
130 CIRCLE (0,B),SQR(1+B*B)
140 NEXT N : END
```

Om een goed beeld te verkrijgen van wat er in elektrische velden gebeurt, kunnen we stromend water hanteren als modelsysteem. Een positieve puntlading vatten we dan op als een waterbron en een negatieve puntlading als een waterput. In de afbeelding die het programma POTVELD2 tekent, kunnen we het water als het ware zien stromen van het ene naar het andere punt langs een cirkelvormige stroomlijn.

Wanneer we het veld van twee gelijke puntladingen willen analyseren komen we al meteen in technische problemen. Op een potentiaallijn is dan telkens het produkt $PP_1 \cdot PP_2$ constant. De daardoor gedefinieerde veldlijnen staan bekend als zogenaamde lemniscaten. Er bestaan twee soorten lemniscaten: allereerst kleine ovale veldlijnen om de afzonderlijke bronpunten, en vervolgens

grote ingedeukte ovalen om de gezamenlijke bronpunten. De grenslijn, de potentiaallijn die door de oorsprong gaat, heeft de vorm van een liggende acht. Deze beroemde figuur staat bekend als de lemniscaat van Bernoulli. Het tekenen van de lijnen vereist enige wiskundige handigheid, waaronder het gebruik van poolcoördinaten waarbij de positie van een punt wordt gegeven door de straal en de hoek tussen de straal en een gekozen lijn. We gaan er niet op in maar we verwijzen de lezer naar het programma POTVELD3. Er zijn verder maar weinig speciale gevallen van velden waarvan de potentiaal-

lijnen redelijk eenvoudig berekenbare krommen zijn. Een aardig voorbeeld is een veld waarbij er op de hoekpunten van een regelmatige veelhoek onderling gelijke puntladingen geplaatst zijn. Op de wiskundige behandeling gaan we niet in. Wel vermelden we dat bij dergelijke problemen de complexe rekenwijze goed kan worden gebruikt op dezelfde wijze als wij haar gebruiken bij Julia-sets en de Mandelbrotverzameling. We eindigen deze aflevering van Simulatica met de beschrijving van een eenvoudige methode om het potentiaalveld van een willekeurig verdeling van puntbronnen op kleurige wijze in beeld te



```

10 REM ***POTENTIALVELD VAN TWEE GELIJKE PUNTLOADINGEN***
20 REM ***NAAM: POTVELD3***
30 SCREEN 12 : CLS : PI=3.141593
40 WINDOW (-2,-1.5)-(2,1.5)
50 H=.2 : FOR M=0 TO 8
60 C=EXP(H*M)+.00001
70 FOR K=0 TO 400
80 T=2*K*PI/400
90 R=SQR(COS(2*T)+SQR(C-SIN(2*T)^2))
100 PSET (R*COS(T),R*SIN(T))
110 NEXT K : NEXT M
120 FOR M=1 TO 8 : C=EXP(-H*M)
130 FOR K=0 TO 80 : T=K*PI/80
140 X=SQR(1+C*COS(T))
150 Y=SQR(-2-C*COS(T)+SQR(4+4*C*COS(T)+C*C))+.00001
160 PSET (X,Y) : PSET (X,-Y)
170 PSET (-X,Y) : PSET (-X,-Y)
180 NEXT K : NEXT M
190 END

```



```

10 REM ***POTENTIALLIJNEN PATROON***
20 REM ***NAAM: POTVELDP***
30 SCREEN 12 : CLS
40 XM=320 : YM=240 : N1=80 : N2=60
50 INPUT "AANTAL BRONPUNTEN M = ", M
60 CLS : DIM X(M), Y(M), Q(M)
70 FOR K=1 TO M
80 PRINT "X COORDINAAT PUNT"; K : INPUT "X = ", X
90 PRINT "Y COORDINAAT PUNT"; K : INPUT "Y = ", Y
100 PRINT "LADING PUNT"; K : INPUT "Q = ", Q
110 X(K)=X : Y(K)=Y : Q(K)=Q
120 NEXT K : CLS
130 PRINT "KIES POTENTIALVERSCHIL V, BIJV. V=2"
140 INPUT "PARAMETER POTENTIALVERSCHIL V = ", V
150 PRINT : INPUT "AANTAL PIXELRIJEN      N= ", N
160 CLS : N1=N : N2=INT(3*N/4)
170 FOR I=-N1 TO N1 : X=2*I/N1
180 FOR J=-N2 TO N2 : Y=2*J/N1
190 S=8*M : FOR K=1 TO M
200 S=S-Q(K)*LOG((X-X(K))*(X-X(K))+(Y-Y(K))*(Y-Y(K))+1E-08)
210 NEXT K
220 IF S<0 THEN S=0
230 L=1+INT(2*S) MOD 14
240 PSET (XM+I, YM+J), L
250 NEXT J : NEXT I
260 END

```

brengen. De daarbij gebruikte pixel-methode is eenvoudig maar kost veel rekentijd; eigenlijk is deze methode alleen maar goed uitvoerbaar op een snelle computer. Met dezelfde methode worden overigens ook de vele kleurige afbeeldingen van Julia-sets op het beeldscherm verkregen.

In het bovenstaande programma POTVELDP kan interactief een willekeurig patroon van puntladingen worden gekozen en zijn de ladingen ook willekeurig vast te stellen. Gemakshalve kiezen we daarbij de puntbronnen binnen het eenheidsvierkant en nemen we voor de ladingen willekeurige getallen in de orde van enkele eenheden. Het programma berekent voor elke pixel de potentiaal als een som van eenvoudige logaritmische termen. Het programma herleidt die potentiaal tot een positief geheel getal waaruit de kleurwaarde wordt afgeleid. Beschikt men over 14 kleuren (exclusief wit en zwart, dan wordt het laatst verkregen getal modulo 14 gereduceerd tot het gewenste kleurenattribuut. Wie niet over een kleurenmonitor beschikt, kan gewoon met wit en zwart werken door in regel 230 het getal 14 te vervangen door het getal 2.

In het programma zijn nog een paar kleine technische details aanwezig. Zo moet men ervoor zorgen dat het argument van de logaritmische functie niet toevallig nul is.



Een met het programma POTVELDP verkregen illustratie van een soort condensator met twee groepen van vier ladingen. De eerste groep bestaat uit de vier punten $(-0,6, 0,4)$, $(-0,2, 0,4)$, $(0,2, 0,4)$ en $(0,6, 0,4)$, allen met de lading 1. Het tweede viertal bevindt zich op een symmetrische positie op de lijn $y = -0,4$. De ladingen van dit viertal zijn -1 .

WERKEN IN HET BUITENLAND

Wilt u van leven veranderen? Zoekt u werk in het buitenland? Ziehier het boek dat u nodig heeft. U vindt er alle inlichtingen in terug evenals de adressen van meer dan 1.000 ondernemingen en uitzendbureau's.

Tegelijkertijd nemen wij de vrijheid u dit boek voor te stellen als een onontbeerlijk middel voor allen die werk zoeken. Alles staat er in, van de werk-aanvraag over het arbeidscontract, informatie over de arbeidsvergunning, visa, tot het klimaat, salarisniveau en verblijfsvoorwaarden in Europa, de Verenigde Staten, Canada, de Antillen en het Verre Oosten.

Geïnteresseerd? Vraag schriftelijk onze gratis brochure aan die u meer inlichtingen zal bezorgen, op het hieronder vermelde adres. Duid daarbij met een kruisje het juiste vak aan:

☐ Boek 'Arbeit im Ausland'.
Prijs: f 59,-.

☐ Gratis brochure.

Indien het de brochure is die u interesseert verzoeken wij u om aan uw brief een aan uzelf geadresseerde enveloppe toe te voegen die een internationale frankeringscoupon bevat.

SH BOKFÖRLAG AB Box 2014
S-135 02 Tyresö Zweden.

N.B. Wij zijn geen uitzendbureau!

AUTEURS

Ir J.D. van der Baan ('Zeilen') werd op 2 maart 1939 te Haarlem geboren. Hij studeerde werktuigbouwkunde aan de Technische Universiteit Delft. Van 1969 tot 1979 ontwikkelde hij dieselmotoren voor verschillende werven. Sedertdien werkt hij bij het MARIN te Wageningen, waar hij hoofd is van het projectenbureau Ship Powering.

Prof dr J.N.M. Mol ('Bloemkleuren') werd op 30 januari 1948 in Amsterdam geboren. Hij studeerde scheikunde aan de Universiteit van Amsterdam, waar hij in 1976 promoveerde. Daarna deed hij onderzoek aan de Rotterdamse universiteit. Sinds 1980 bestudeert hij aan de Amsterdamse VU de moleculaire genetica van bloemkleursynthese en bloemontwikkeling. Hij is er nu hoogleraar.

Drs W. Boelhouwer ('Elektriciteit') is op 3 augustus 1943 in Wageningen geboren. Van 1962 tot 1968 studeerde hij natuurkunde aan de RU Utrecht. Sinds 1969 is hij leraar natuurkunde, momenteel aan de rijksscholengemeenschap Thorbecke in Amersfoort en aan de HTS in Utrecht. Boelhouwer verzamelt afbeeldingen van oude instrumenten.

Dr ir E.H.P. Logtenberg ('Lijm') is geboren in Wierden op 25 maart 1954. Hij studeerde scheikunde aan de LU Wageningen en promoveerde in 1983 in Eindhoven. Daarna was hij tot 1986 verbonden aan het Houtinstituut TNO. Nu is hij leider van de werkgroep Grensvlakchemie en Hechting van het Centrum voor Polymere Materialen TNO.

Drs H.P.M. Hillegers ('Begrazing') is op 24 maart 1940 in Meerssen geboren. Hij studeerde van 1964 tot 1969 biologie aan de Rijksuniversiteit Groningen. Daarna was hij enige tijd leraar. Momenteel werkt hij aan een vegetatiekundig proefschrift over typisch Limburgse terreinen.

Oude technieken

Oude technieken omvatten soms geniale oplossingen; het is geen uitzondering dat men vooral aan de hand van problemen die met een moderne aanpak ontstaan, gaat inzien hoe slim onze voorouders de dingen soms aanpakten. Geen wonder, dat er min of meer geregeld serieus wordt gezien of we van die vroegere handigheid niet wat meer gebruik kunnen maken. Per slot van rekening heeft de mensheid honderden, soms duizenden jaren die technieken toegepast en daarbij overleefd zonder bijvoorbeeld het milieu ernstig aan te tasten.

Maar het is evenmin een wonder dat de pogingen de kennis van weleer opnieuw toe te passen in het algemeen marginaal tot geen succes hebben. Wat abstract gezegd: de mensheid heeft het wel overleefd, maar met de meeste individuen binnen die mensheid was het maar pover gesteld. Waarschijnlijk is de essentie van moderne technieken gelegen in de produktiviteit, in de mogelijkheid met een zekere (beperkte) menselijke inspanning enorme hoeveelheden produkt te leveren met een in hoge mate beheerste kwaliteit. De ontwikkeling gaat daarbij in de richting van een steeds grotere produktie per produktie-eenheid, bij een steeds betere beheersing, dat wil zeggen bij een steeds grotere onafhankelijkheid van omstandigheden.

Zowel de hoeveelheid produkt als de kwaliteitsbeheersing zijn daarbij van niet te overschatten belang voor het hele niveau van de economie en de consumptie. Wanneer niet zeker is dat de moertjes uit het ene doosje passen bij de boutjes uit het andere, wanneer er niet op kan worden vertrouwd dat de nieuwe voorraad moertjes op tijd in de winkel ligt, wanneer er misschien opeens helemaal geen moertjes zijn of wanneer de moertjes honderd maal zo duur worden, dan dreigt het gevaar dat hele produktieketens in elkaar zakken. Daarmee hangt dan meteen samen dat er voor bepaalde produkten een veel groter deel van het inkomen moet worden besteed – gesteld al dat het reële inkomen hetzelfde zou kunnen blijven – en dat er dus voor andere – in het algemeen luxe – produkten minder over zou zijn, waardoor een van de belangrijkste peilers van de economie in het gedrang zou komen. Enzovoort.

De tijden dat er een stroming was die pleitte voor consumptiebeperking lijken achter ons te liggen. Ze zouden ook nogal ongeloofwaardig zijn nu in de media serieus een telefoondichtheid van één toestel per twaalf inwoners wordt gehanteerd om aan te geven hoe vreselijk arm en onmenswaardig het bestaan in Oosteuropese landen is. (Waarmee niets is gezegd over het bestaan in die landen; het gaat hier om het argument.)

Niettemin is er wel een groeiend terrein waarop de oude technieken ook nu de moeite waard zijn. Dat is vooral de recreatie, een tak van bedrijvigheid van snel toenemend economisch belang. Er is daar een koopkrachtige vraag naar nostalgie. Nu de koeien uit de wei verdwenen zijn wordt hun plaats ingenomen door paarden en pony's. Er varen niet alleen steeds meer zeiljachtjes rond, er worden goede zaken gedaan met een aantal serieuze zeilende cruiseschepen. En in natuurgebieden is weer plaats voor begrazing als in vroegere eeuwen.

WINDKRACHT

*voor de
grote vaart*

Na eeuwenlang windkracht te hebben gebruikt voor de aandrijving van schepen, ging men in de negentiende en twintigste eeuw over op moderne energiebronnen voor scheepsvorstuwing, te weten stoom en later diesel. Sinds de energiecrisis aan het begin van de jaren zeventig staat het gebruik van wind als voortstuwingsmiddel van schepen weer in de belangstelling. De motivatie voor het ontwikkelen van een moderne zeiltechnologie komt niet alleen voort uit economische, maar ook uit milieuoverwegingen.

De Alcyone is het nieuwste schip van de Cousteau Foundation. In plaats van zeilen, maakt dit schip gebruik van twee vaste cilinders. Door middel van een ventilator bovenin de cilinder en een lange luchtspleet over de gehele lengte van de cilinder veroorzaakt de wind een forse voortstuwingskracht.

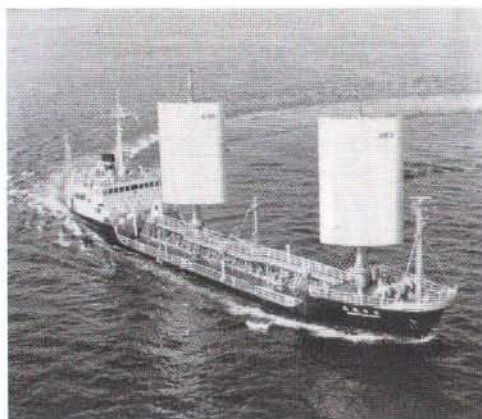
J.D. van der Baan
MARIN, Wageningen



Schepen zijn tientallen eeuwen lang door de wind voortgestuwd. In de loop van de negentiende eeuw veranderde dit toen de stoommachine het mogelijk maakte een schip werktuiglijk voort te stuw. Stoom verdrong het zeil langzaam maar gestaag. Aan het begin van deze eeuw moest dit medium op zijn beurt de dominante positie weer afstaan aan installaties met inwendige verbranding: dieselmotoren. Ook dit proces verliep geleidelijk; nog maar kort geleden zijn de laatste stoomturbine-installaties, door sloop of door ombouw van schepen, uit bedrijf genomen.

In de meest recente periode, die begint na de Tweede Wereldoorlog, heerste de verwachting dat de dieselmotor op zijn beurt zou worden vervangen als voortstuwingsbron. Allereerst dacht men dat de gasturbine zou doorbreken. Vervolgens leek ook kernenergie in aanmerking te komen als energiebron voor scheepsvortstuw. Beide soorten installaties zijn op uitgebreide schaal beproefd en zijn door diverse marines ook ingevoerd. Binnen de koopvaardij bleef het echter bij experimenteren.

Toen in het begin van de jaren zeventig de energiecrisis losbarstte, was er veel belangstelling voor alternatieve energiebronnen voor de voortstuw van schepen. De brandstofprijzen waren enorm gestegen, terwijl bovendien de vrees bestond dat de voorraden fossiele brandstoffen snel uitgeput zouden raken, waardoor de prijzen nog verder zouden stijgen. Inmiddels was men van mening dat kernenergie



1

ook niet de definitieve oplossing kon bieden, althans met de huidige stand van de techniek. Automatisch rees de vraag: wat dan wel?

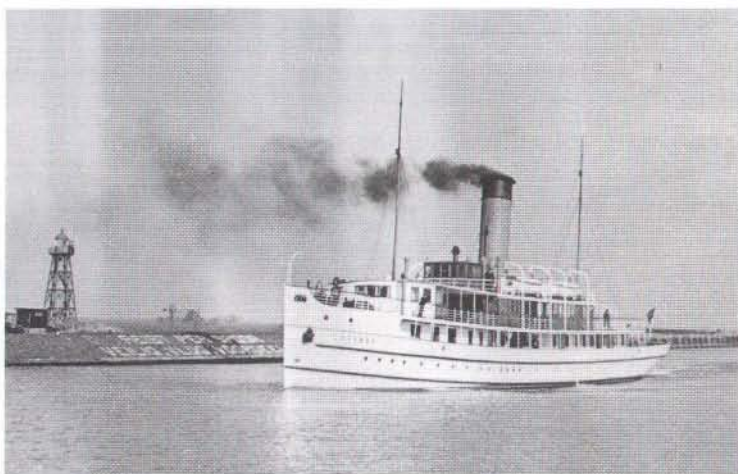
Nostalgie

In de scheepvaart is toepassing van windenergie een emotioneel beladen begrip. Hoewel onderzoek naar de herinvoering van zeilvaart in menig researchprogramma stond vermeld, verliep de ontwikkeling traag. Er was veel tegenstand, vooral van gebruikerszijde, omdat de reders vreesden dat een flinke portie nostalgie 'naar de tijden van weleer' een rol kon gaan spelen. Inderdaad verschenen er tekeningen uit

1. De proefvaart van de Shin Aitoku Maru, de voorganger van de Usuki Pionier.

2. Stoom-, en later dieselschepen verdrongen begin deze eeuw de zeilschepen in de commerciële scheepvaart.

3. Constructies voor voortstuw van schepen door middel van windkracht verdeelt men over vier typen: a. dwarsgetuigde zeilen, b. langsetuigde zeilen, c. cilindervortstuw, en d. experimentele systemen.



2

de oude doos en was er een stroming die de oude klipperschepen verder wilde ontwikkelen. Echter, scheepvaart is een keihard bedrijf waarbij de reder internationaal moet concurreren door een rationele bedrijfsvoering; voor hobbyïsme is daar geen plaats.

Diverse nadelen van zeilvaart werden dan ook aangevoerd. Zo is de reisduur van een zeiltocht onvoorspelbaar vanwege het grillige karakter van weer en wind in zeer veel vaargebieden. Voorts veronderstelde men, dat zeilschepen een grotere bemanning vereisen, terwijl de trend, door de automatisering, het inkrimpen van de bemanning was. Gebruik van zeilvaart was strijdig met de technische randvoorwaarden voor schaalvergroting, die werd nagestreefd zowel in scheepstypen als in bedrijfsvoering (fusies, internationale samenwerking). Bovendien waren er geen beproefde, moderne technieken beschikbaar. De noodzaak van het uitzien naar goedkope alternatieve scheepsaandrijvingen verdween prompt toen tenslotte de brandstofprijzen dramatisch kelderden aan het einde van de jaren zeventig.

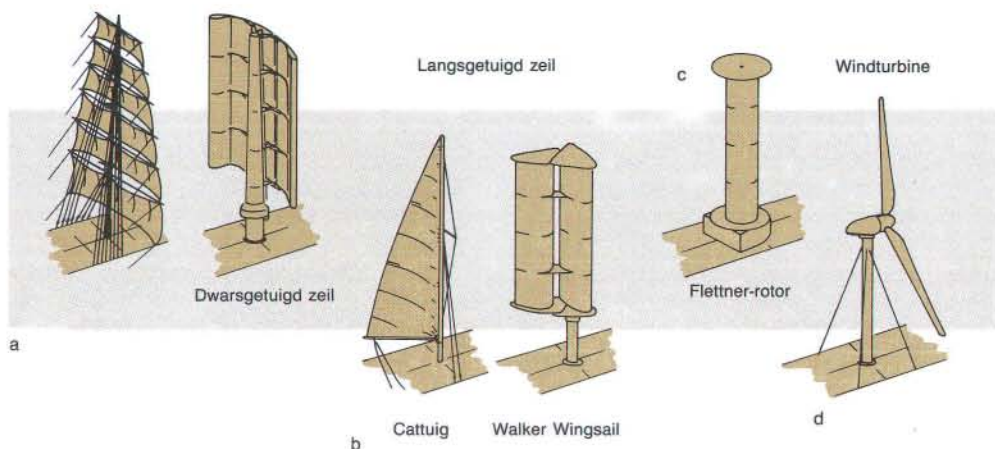
Aanzet tot moderne ontwikkelingen

Toch was er, ook in Europa, een solide basis gelegd voor een verdere ontwikkeling van een zeilschip-nieuwe stijl. Reeds in de jaren zestig was aan de Universiteit van Hamburg onder de bezielende leiding van Wilhelm Pröhl het project *DYNA-SHIP* van de grond gekomen. Dit

project gaf de contouren aan voor een nieuwe generatie van zeilende vrachtschepen die zijn ontwikkeld volgens de moderne technologie. Daartoe werden diverse tuigvormen onderzocht in een windtunnel. De uiteindelijk gekozen uitvoering betrof een installatie met kunststof (dacron) zeilen. Deze zeilen zijn gewikkeld om een verticale drum die zich in de mast bevindt en kunnen van binnenuit de mast naar buiten worden gerold.

Dit ontwerp bleef echter steken in de fase van het zogenaamde conceptual design, verdere details van het ontwerp heeft men niet meer onderzocht. De Belgische werf *Cockerill Yards* te Hoboken heeft in de nadagen van haar bestaan nog een vrachtschip ontworpen op basis van dit concept, maar dit schip is helaas nooit gerealiseerd.

Het onderzoek was daarentegen zeer intensief in de jaren zeventig. In internationale symposia deed men verslag van de voortgang van het onderzoek. Twee symposia kunnen tot de echte uitschieters worden gerekend, te weten het *Symposium On Wind Propulsion of Commercial Ships COMSAIL*, georganiseerd door de *Royal Institution of Naval Architects* in 1980 te Londen, en *WINDTECH '85*, dat de universiteit van Southampton organiseerde. Deze symposia hadden als doel een compleet overzicht te geven van de mogelijkheden voor zeilvoortstuwing en tevens het kaf van het koren te scheiden. De diverse typen zeilaandrijving werden in vier groepen verdeeld (afb. 3).





4

Dwarsgetuigde schepen

De eerste groep bestaat uit de categorie van de *dwarsgetuigde schepen*. De traditionele versie van dit tuig stierf uit in het begin van deze eeuw. Moderne varianten komt men nog wel tegen bij de schoolschepen (tall ships; *Sail Amsterdam*). Een derde variant is het reeds vermelde DYNA-SHIP. Dit project heeft een duidelijke impuls gegeven aan de herevaluatie van de zeilvaart. In deze beginperiode ging het vooral om de keuze tussen hulpvoortstuwing (*sail-assisted motorships* – motorschepen met hulpzeilen) of overwegend zeilvoortstuwing (*motor-assisted sailships* – zeilschepen met hulpmotoren).

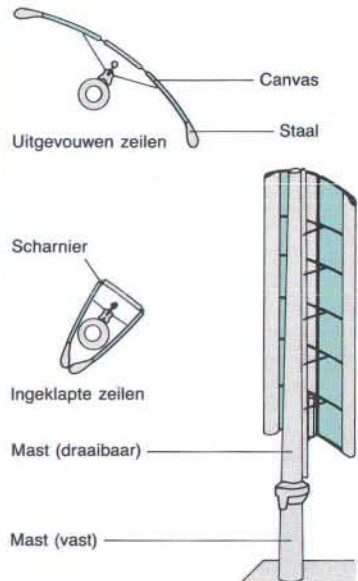
Bij het DYNA-SHIP-project was sprake van overwegend zeilvoortstuwing. Japanners hebben het daarbij gebruikte zeilsysteem verder geperfectioneerd voor hulpvoortstuwing. Hierbij maken zij gebruik van moderne scheepvaarttechnologie, waarbij een computer de zeilen controleert en de stand van de zeilen aanpast aan windsnelheid en windrichting. Het systeem werkt volledig automatisch, zodat er geen extra bemanningsleden nodig zijn om de zeilen te bedienen. De grootte van de bemanning van dit schip blijft daardoor dezelfde als die van een conventioneel schip.

Inmiddels zijn meer schepen met dit systeem in de vaart, waaronder de *Shin Aitoku Maru* (afb. 1 en 6). Schepen van dit type hebben twee kunststof zeilen, die om een verticale as kunnen worden opgerold analoog aan het DYNA-SHIP-systeem. Elk zeil is zestien meter hoog en twintig meter breed zodat per zeil een oppervlak van 320 m² ontstaat. Deze zeilen zijn tevens verdeeld in een onder- en een bovengedeelte die afzonderlijk oprolbaar zijn. In de praktijk heeft men windsnelheden tot 25 meter per seconde (windkracht 10) kunnen gebruiken. Hogere windsnelheden veroorzaken technische problemen en vereisen tijdelijke uitschakeling van de installatie.

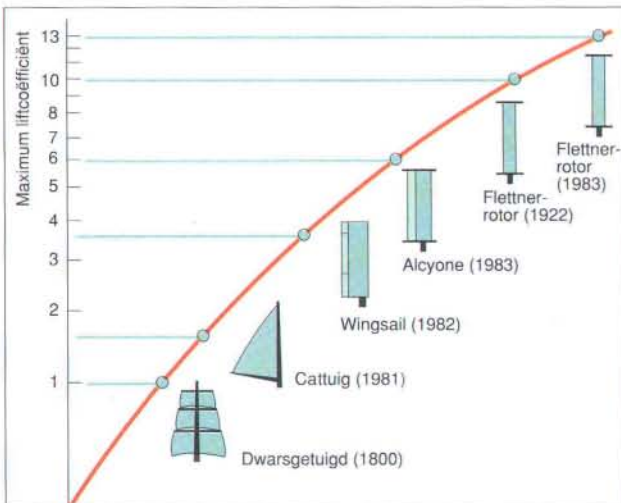
Als bezwaar tegen dwarsgetuigde schepen geldt in het algemeen de beperkte mogelijkheid om goed aan de wind te kunnen varen. Ook zullen de aerodynamische eigenschappen van deze betrekkelijk eenvoudige zeilvorm (geen vleugelprofiel) niet indrukwekkend zijn; de $C_{L(max)}$, een maat voor de maximale lift die een zeil kan leveren, is betrekkelijk laag (zie Intermezzo I). Het grote voordeel is echter dat toepassing van deze zeilvorm vrijwel geen bijzondere aanpassingen aan het scheepsontwerp vereist, zodat de extra benodigde investeringen beperkt blijven. Daarom zal deze uitvoering in de toekomst vrijwel zeker vaker verschijnen.



5



6



7

Langsgetuigde schepen

De tweede groep vertegenwoordigt de categorie van de *langsgetuigde schepen*. De moderne zeiljachten zijn bijna zonder uitzondering langsgetuigd, maar aan het einde van het zeiltijdperk van de beroepsvaart gold dit ook voor de kleinere schepen. Enerzijds ging het daarbij

4. De nieuwe Rainbow Warrior is uitgerust met zeilen die zijn ontwikkeld in het INDOSAIL-project. Milieu-overwegingen spelen een belangrijke rol bij de keuze van Greenpeace voor windvoortstuwing.

5. Op de Lenin-werf in Gdansk ontwikkelde men de Oceania, een dwarsgetuigde driemaster met hydraulisch gehesen zeilen.

6. Moderne dwarsgetuigde zeilen, zoals op de Usuki Pioneer, lijken amper op de zeilen die men kan zien tijdens Sail Amsterdam.

7. Een overzicht van de prestaties van diverse tuigvormen, gebaseerd op CL_{max} , toont dat langsgetuigde versies beter presteren dan dwarsgetuigde versies, maar ook dat het cilindertuig alles slaat. Dit komt voor een groot deel door de gunstiger aspectverhouding: de verhouding tussen hoogte en breedte van het profiel.

om twee- en drie-mastschoeners van de zeevaart, anderzijds waren het de tjalken en de klippers van binnenvaart en kustvaart. Daarnaast bestond er nog een grote categorie kleinere schepen – vissersvaartuigen, loodsboten en beurtschepen – welke alle dit type tuig gebruikten. De oorspronkelijke variant met een gaffeltuig vormt groep 2a.

Criteria ter beoordeling van het zeiltuig

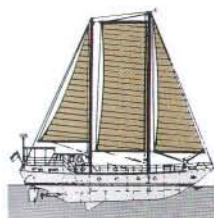
De prestaties van een tuig meet men af aan de samenhang van de zogenoemde lift- en weerstandscoëfficiënten. Een zeil kan worden opgevat als een vleugelprofiel dat in een luchtstroom is geplaatst. De resulterende kracht F op het zeil is te ontbinden in twee componenten, de lift L , loodrecht op de windrichting, en de weerstandskracht D (*Drag* = weerstand), in de windrichting. Wanneer deze krachten dimensieloos worden gemaakt met de term $\frac{1}{2}\rho V_a^2 S$ (ρ = soortelijke massa van lucht, V_a = snelheid van de schijnbare wind en S = zeiloppervlak), dan ontstaan de liftcoëfficiënt C_L (in formule: $L/\frac{1}{2}\rho V_a^2 S$) en de weerstandscoëfficiënt C_D ($D/\frac{1}{2}\rho V_a^2 S$). Het is gebruikelijk om deze coëfficiënten in een grafiek tegen elkaar uit te zetten. In het zo verkregen diagram kan men diverse markante punten herkennen. Dit zijn de maximale lift $C_{L(max)}$, die kort voor het overtrekken van het profiel optreedt, de minimum of parasitaire weerstand $C_{D(0)}$, bij gebrek aan lift, en de maximale weerstand $C_{D(max)}$, die optreedt bij een volledig overtrokken profiel.

Een andere invalshoek bij de beoordeling van de prestaties van het tuig ontstaat wanneer de kracht F wordt ontbonden in de voortstuwende kracht X en de driftkracht Y . Hierbij is de x -richting de verplaat-

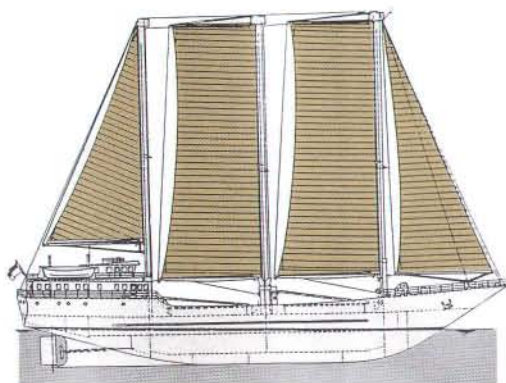
singsrichting van het schip en staat de y -richting hier loodrecht op. De bewegingsrichting en de lengteas van een schip hoeven niet samen te vallen aangezien er ook nog sprake is van een drifthoek, λ . Analooq aan de bepaling van C_L en C_D worden ook C_X en C_Y bepaald. Soms presenteert men voor de diverse tuigvormen de C_X -waarden in plaats van de relatie tussen C_L en C_D . Het is in de vakliteratuur echter ook gebruikelijk om in plaats van de voortstuwende kracht X te spreken van de stuwkracht T . Uitgaande van het polair diagram is het mogelijk deze stuwkracht T voor diverse windrichtingen te bepalen. Daarbij wordt F ontbonden in twee vectoren, één evenwijdig aan en één loodrecht op de koerslijn van het schip. Een vectoranalyse toont aan dat bij koersen aan de wind het meest interessante gebied rond F_{max} is gelegen. Als eerste benadering kan voor T worden geschreven:

$$T = \frac{1}{2}\rho V_a^2 S \cdot C_{L(max)}(\sin\beta - C_D/C_{L(max)} \cdot \cos\beta)$$

waarbij $C_D \ll C_{L(max)}$ en β de hoek voorstelt tussen de koerslijn en de richting van de schijnbare wind. Bij een zekere β en V_a bepaalt het produkt $S \cdot C_{L(max)}$ de grootte van de stuwkracht. Voor een bepaalde stuwkracht kan men een kleiner oppervlak kiezen naarmate $C_{L(max)}$ groter is.



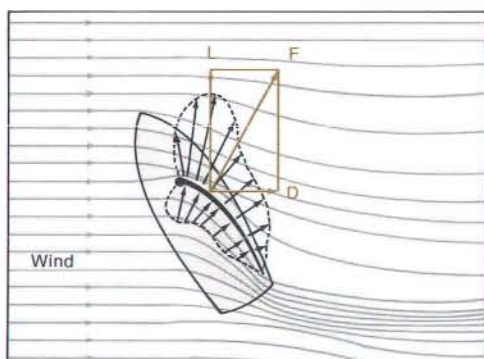
8. Het INDOSAIL-project is opgezet voor de kustvaart in de Indonesische archipel. Na een klein proefmodel heeft men nu reeds een groter prototype in de vaart genomen.



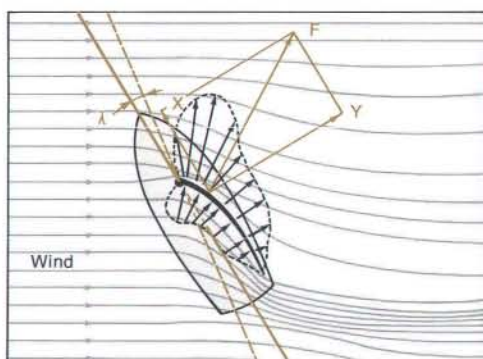
8

Groep 2b bestaat uit een moderne variant, het zo genoemde INDOSAIL-project voor Indonesië. In dit specifieke geval heeft men een uitvoerige analyse gemaakt van de operationele eisen die moeten worden gesteld aan zeilende kustvaarders voor de archipelvaart. Een rationele bedrijfsvoering stond hoog genoteerd bij de ontwikkeling, terwijl de bouw en de uitrusting van de schepen lokaal diende te geschieden. De toegepaste moderne zeiltechnieken en inzichten moesten wel aansluiting vinden op wat in het verleden gangbaar was. In een modulair systeem is zo een serie moderne, zeilende kustvaartuigen ontwikkeld, waarbij bekende technieken op een originele manier zijn toegepast (afb. 4 en 8).

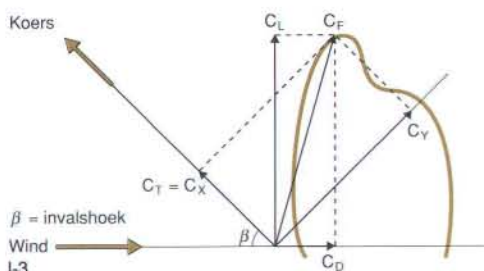
Dit project, in een bilaterale samenwerking Duitsland-Indonesië tot stand gekomen, liet technologisch niet veel noviteiten zien maar trok internationaal sterk de aandacht. Een reden is dat er meer plannen bestaan, onder andere van de FAO, om die ontwikkelingen op het gebied van vissersvaartuigen te stimuleren



I-1



I-2



I-3

I-1 en I-2. Ontbinding van de resulterende zeilkracht F in lift- en weerstandsc componenten (I-1), dan wel in stuw- en drijftkracht (I-2). λ is de hoek tussen de bewegingsrichting van het schip en de boeglijn.

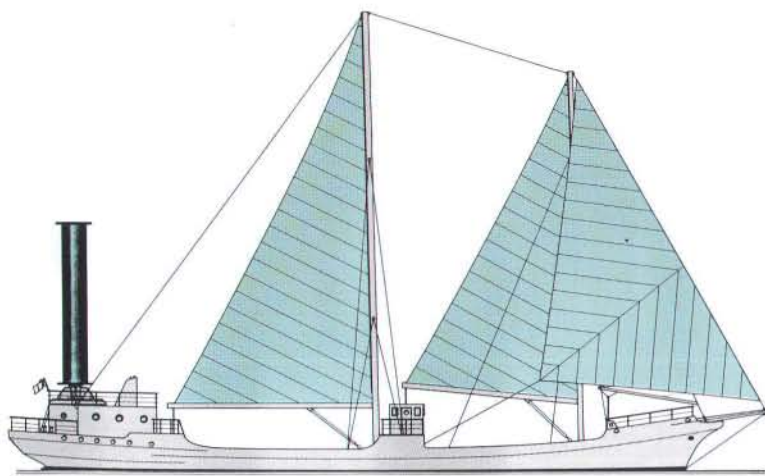
1-3. In een krachtendiagram toont men het verband tussen stuwkracht, windrichting en koers. C_L en C_D zijn de lift- en de weerstandscoefficient, C_X en C_Y stellen stuw- en drijftcoëfficiënt voor.

waarbij de lokale markt een rol speelt. High-tech oplossingen zijn dan meestal niet van toepassing. De praktijk heeft helaas aangetoond dat deze ogenschijnlijk simpele oplossingen vaak ook een lange weg hebben te gaan.

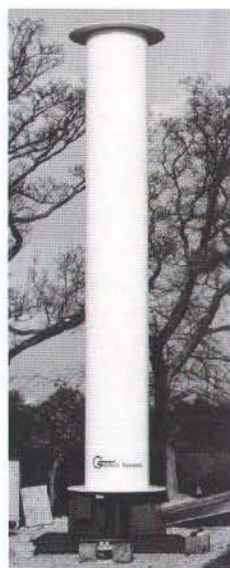
Een stap verder in de ontwikkeling gaan de schepen met een *cattuig*. Hierbij zijn alle bijzeilen (zoals fok, kluiver en topzeilen) vervallen en blijft per mast één grootzeil over. Dit cattuig kan zowel in de vorm van een torentuig als een gaffeltuig voorkomen. De zeilen zijn nog steeds van doek (kunststoffen als dacron), maar zijn aerodynamisch beter van vorm (afb. 13). Tot groep 2 behoort ook het zogenaamde *Princeton Sailwing*, waarbij het zeil reeds een volledig vleugelprofiel heeft waarin de mast is opgenomen. Het vleugelprofiel wordt verkregen door het zeildoek dubbel uit te voeren. Het hoge rendement komt voort uit de gunstige aspectverhouding van het zeil en de goede controleerbaarheid van de vorm. Algemeen wordt deze variant als het beste tuigplan gezien van de diverse uitvoeringen met zeilen

van doek. De lift- en weerstandscoefficienten C_L en C_D van dit cattuig steken dan ook gunstig af vergeleken bij andere zeiltypen (Intermezzo I).

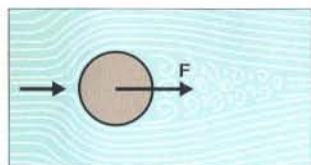
De laatste stap in de ontwikkeling van zeilen is die van de *rigid-wingsails*. Hierbij is men afgestapt van zeildoek en worden massieve vleugelprofielen, hetzij van kunststof, hetzij van licht metaal, toegepast. Bij deze constructie kan men het meest gunstige zeilprofiel kiezen, zodat de optimale C_L/C_D -relatie wordt verkregen. Teneinde zeer snel op windschiftingen te kunnen reageren is de achterkant van het profiel, gelijk een vliegtuigvleugel, meestal draaibaar uitgevoerd. Men noemt dit een *TE Flap* (TE = *Trailing Edge* = achterkant). Soms is deze functie separaat, via een spleet, verder naar achteren geplaatst. Alhoewel dit systeem wordt gebruikt voor motor-assisted zeilschepen, ligt de meest praktische toepassing bij het sail-assisted motorschip. Een bekende uitvoering is het *Walker Wingsail* uit Engeland (afb. 12 en omslagfoto).



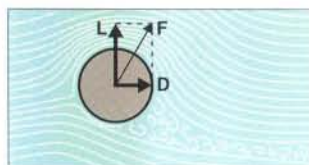
9



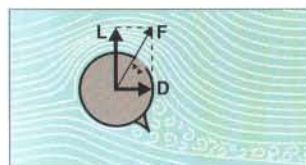
10



11a



11b



11c

Cilinderschepen

De oorspronkelijke *cilinderschepen*, de Magnus-effect-rotorschepen, noemt men ook wel de Flettner-rotorschepen, naar de Duitse uitvinder Anton Flettner. Bij dit systeem wordt een stuwkracht voor het schip ontleend aan de liftkracht uitgeoefend op een roterende cilinder, het zogenaamde Magnus-effect. Deze roterende cilinder moet zich daartoe in een stromend medium bevinden (lucht of water) en ondervindt daarbij een kracht, welke loodrecht staat op de stromingsrichting. Langs het oppervlak ontstaan onderdruk- en overdrukvelen.

Reeds in de jaren twintig werd met de toepassing van het Magnus-effect in de scheepvaart geëxperimenteerd en twee zeeschepen, de Buckau en de Barbara, zijn toen enkele jaren in de vaart geweest. In aanmerking genomen dat het prototypes waren met de gebruikelijke kinderziekten hebben de schepen redelijk voldaan. Bij vergelijking van het potentieel van



12

9. Begin jaren tachtig werd de klipper Patricia uitgerust met een Flettner-rotor. Dit schip vaart nu in de Caraïbische Zee.

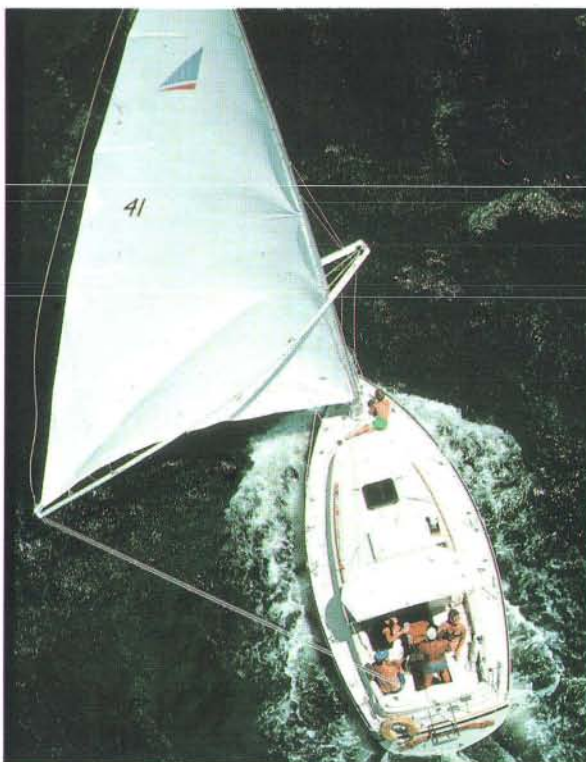
10. Door de daling van de olieprijs is de ontwikkeling van deze Flettner-rotor tijdelijk stopgezet. Halverwege deze cilinder bevindt zich een motor die hem doet ronddraaien.

11. De aandrijving van cilinderschepen berust op het Magnus-effect. De wind oefent op een stilstaande cilinder een kracht uit die evenwijdig is aan de windrichting (11a). Zodra de cilinder roteert ontstaat naast deze kracht ook een kracht loodrecht op de stromingsrichting (11b). Omdat een snel roterende cilinder op een schip praktische problemen kan opleveren, ontwikkelde professor Malavard het Turbosail (11c).

12. De trimaran Zefyr, uitgerust met het Walker Wingsail. Deze open constructie blijkt vrij effectief windkracht in snelheid te kunnen omzetten. Inmiddels heeft men op grotere schepen hulpzeilen van dit type gemonteerd.

13. De NONSUCH 30 is een relatief snel zeilschip met een cattuig.

14. Bovenin het Turbosail bevindt zich een ventilator, die de lucht door de spleet naar binnen zuigt.



13



14

de diverse tuigvormen op basis van $C_{L(max)}$, valt op dat het roterschip zeer goed scoort (afb. 7). In die tijd ontbrak echter de impuls om dit scheepstype verder te ontwikkelen aangezien de in ontwikkeling zijnde dieselmotoren steeds beter functioneerden en de brandstoffen in prijs daalden. Het principe is echter niet losgelaten en wordt op dit moment onder andere in Engeland en Polen verder ontwikkeld. Een aantal Poolse wind-assisted roterschepen zullen dit jaar te water worden gelaten.

Calypso 2

Een andere ontwikkeling die hieruit is voortgekomen is variant 3b, het *Turbosail*-systeem van Cousteau-Pechiney (afb. 14). Hierbij draaien de cilinders niet, maar ze worden geventileerd door middel van een bovenin gemonteerde ventilator en een spleet in de omtrek. Deze constructie heeft tot gevolg dat aan de lijzijde van het cilindervormige profiel het loslaten van de grenslaagstroming wordt te-

gegegaan waardoor lokaal een grotere onderdruk wordt gecreëerd. Bovendien is er nog een kamvormige deflector aangebracht, die het asymmetrische karakter van het omstromen versterkt, en kan de cilinder om zijn as in de meest gunstige stand ten opzichte van de wind draaien. Dit systeem vertoont enig verwantschap met het Magnus-effect (afb. 11). Ook het Turbosail verkrijgt een relatief hoge liftkracht en een gunstig rendement. Weliswaar liggen de niveaus onder die van de Magnus-rotoren, maar men is wel verlost van alle mogelijke problemen die kunnen ontstaan als gevolg van de snelle roterende beweging van de cilinders.

De ontwikkeling van het Turbosail is van recente datum en is op gang gebracht door de Franse hoogleraar Lucien Malavard. Vanaf begin 1980 is de Fondation Cousteau, later bijgestaan door het concern Pechiney, met de toepassing van deze vorm aandrijving op schepen bezig, primair bedoeld voor hun eigen exploratieschepen. Het eerste project betrof de experimentele *Moulin à Vent*, waarna de 31 meter lange *Alcyone* volgde (pag. 528-529). Inmiddels zijn er vergevorderde plannen voor een veel groter schip; het beroemde exploratieschip *Calypso* zal binnen afzienbare tijd worden vervangen door de *Calypso 2*. Ook dit vaartuig zal door Turbosails worden voortgestuwd.

Tegen de wind in varen

Naast de drie reeds vermelde groepen zijn er nog enkele systemen waar men onderzoek aan doet. Hoewel experimentele resultaten van dit onderzoek regelmatig worden gerapporteerd, ontbreekt echter enig uitzicht op een echte doorbraak. Allereerst vermelden we de schepen die zijn voorzien van windmolens of windturbines. De ontwerpen tonen zowel uitvoeringen met traditionele horizontale as (windmolens genaamd) als uitvoeringen met een verticale as (windturbine genaamd). Een kenmerk van deze aldus uitgeruste schepen is, dat zij uitstekend tegen de wind in kunnen varen. Een groot bezwaar is echter dat de luchtschroeven gigantische afmetingen gaan aannemen alvorens zij voldoende vermogen voor voortstuwning kunnen produceren. Daarnaast acht men de risico's voor calamiteiten op zee groot. Het is weliswaar zelden windkracht 11-12, maar

Het polaire snelheidsdiagram

Naast een krachtendiagram, zoals omschreven in Intermezzo I, bestaat er ook een snelheidsdiagram dat tegenwoordig veel in gebruik is op de grotere zee-gaande wedstrijd-jachten. Hierbij wordt de snelheid eveneens vectorieel uitgezet, maar ditmaal tegen de ware windrichting (*true wind*, V_t = snelheid van de werkelijke wind). Een dergelijke polaire grafiek kan voor iedere windsnelheid worden opgemaakt en daaruit valt af te leiden dat de snelheid V_s van het schip varieert met de koers. Het bijzondere van het polaire diagram is dat men de voortgang in de richting van de wind goed kan beoordelen. Deze snelheid-in-de-wind heet V_{mg} (*V made good*). De maximale waarde $V_{mg(max)}$ wordt gevonden door de raaklijn aan de polaire loodrecht op de richting van de werkelijke wind te tekenen. De optimale hoek ten opzichte van de ware wind wordt bepaald door de voerstraal naar dit raakpunt te trekken. Een koers onder deze hoek uitgezet levert de grootste snelheid in de wind op. Zo bestaat er ook een maximale snelheid de andere kant op, wanneer het schip voor de wind vaart. Het diagram laat zien dat op die koers niet de maximale snelheid in negatieve richting $V_{mg(min)}$ wordt behaald en dat bijgevolg een koerscorrectie voordelig kan zijn.

11-1. Een polair snelheidsdiagram, ontwikkeld tijdens het DYNA-SHIP-project, toont het verband tussen windrichting en windsterkte, V_t , en scheeps-

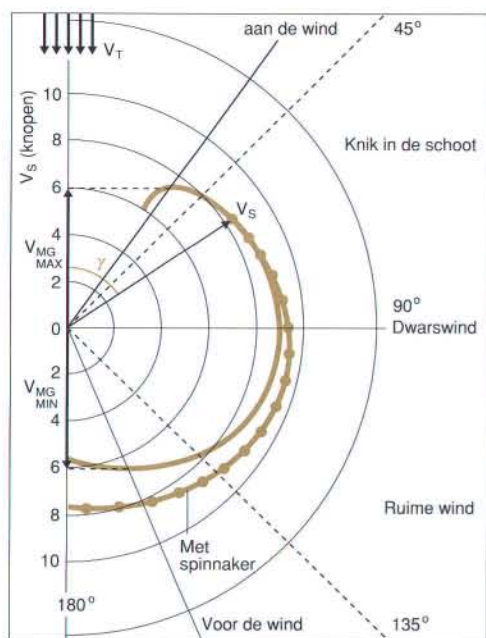
wat gebeurt er met dergelijke grote installaties onder extreme omstandigheden? Veel perspectieven lijken er voor deze uitvoeringen dan ook niet te bestaan.

De laatste variant, de vlieger, lijkt evenmin een hoge vlucht te kunnen gaan nemen. Regel-

15. Varen en vliegeren. In groep vier bevinden zich, naast diverse typen windturbines, ook zeer verrassende ontwerpen voor scheepsaandrijving.



INTERMEZZO II



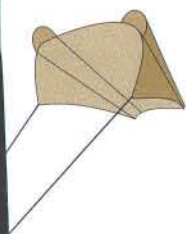
II-1

snelheid, V_s . De grootste snelheid wordt hier bereikt bij een hoek van 95 tot

135°. Eén knoop is een snelheid van één zeemijl (1853 m) per uur.

deze laatste categorie zijn genoemd de diverse visserijprojecten, welke in belangrijke mate door de FAO worden gestimuleerd, alsmede het INDOSAIL-project voor de kustvaart in de Indonesische archipel.

Ook de gewijzigde inzichten met betrekking tot de bedrijfsvoering zijn in het voordeel van toepassing van de zeilvaart. In tegenstelling tot twintig jaar geleden zijn er thans diverse positieve argumenten aan te voeren. Zo is tegenwoordig weerroutering per computer mogelijk (*weather fax*), waarbij de actuele weersituatie de koers van het schip bepaalt in plaats van de statistische methode. Ook blijkt automatisering van zeilvoering mogelijk te zijn, zoals de Japanners die van hulpzeilvermogen uitgingen, inmiddels hebben aangetoond. Het sleutelwoord schaalvergroting wordt in belangrijke mate vervangen door het sleutelwoord diversificatie. Dankzij de regelmatige rapportage van de voortgang vormt zich een goed toegankelijk kennisbestand. Het is tenslotte duidelijk dat in het laatste decennium naast de zuiver economische motieven ook milieu-technische zaken (Fondation Cousteau) een belangrijke rol zijn gaan spelen. Zo heeft ook Greenpeace een aantal schepen van zeilen volgens het INDOSAIL-principe laten voorzien (afb. 4). Deze milieu-technische zaken kunnen echter niet geheel los worden gezien van de economische aspecten.



matig publiceren onderzoekers nieuwe gegevens over deze *kite propulsion*. De problemen om controle over het systeem te houden zijn legio en het pleidooi voor een dergelijk systeem heeft veel weg van de rechtvaardiging van een uit de hand gelopen hobby.

Met de wind in de rug

Uit het bovenstaande blijkt dat de ontwikkelingen nog steeds doorgaan. Er bestaan diverse uitvoeringen die in de toekomst vrijwel zeker op grotere schaal toepasbaar zullen zijn. Enerzijds zijn dit uitvoeringen met een hoog rendement, de cilinderschepen, anderzijds zijn dit uitvoeringen voor ontwikkelingslanden. Van

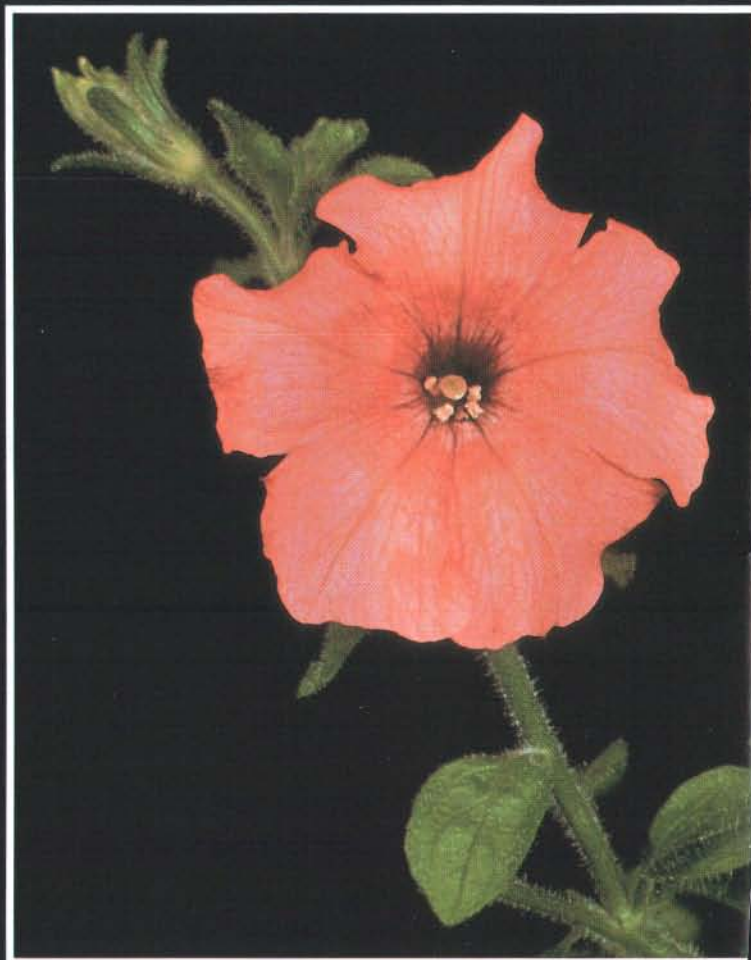
Literatuur

Van der Baan JD. De Australia II – Kiel geeft schip vleugels. *Natuur & Techniek*, 52, 3 (1984): 170-193.

Bronvermelding illustraties

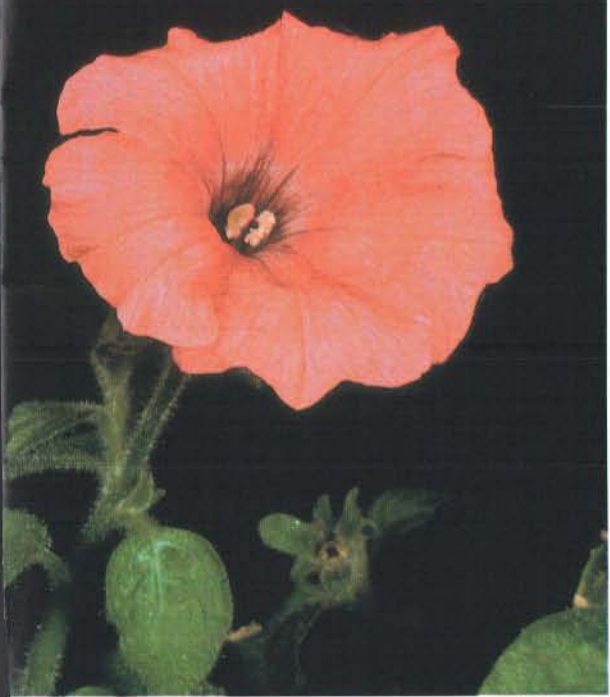
Fondation Cousteau, Parijs: pag. 528-529, 14.
Uit: *Spiegel der Zeevaart*, 6, 8 (1982); 12-17: 1, 6.
Vereniging Stoomvaart, F. Boom, Koog a/d Zaan: 2.
Hamburg Ship Model Basin, W. Schenzle: 8.
Greenpeace, Amsterdam: 4.
Gdansk Shipyard, Centromor S.A., Gdansk: 5.
Paul Carter, Viewpoint, Southampton: 10.
Walker Wingsail Systems plc, Plymouth: 12.
Nonsuch Yachts, Southampton: 13.

BLOEMKLEUR MANIPULATIE



Eigenlijk kunnen oranje petunia's niet bestaan, maar onderzoekers van het Keulse Max-Planck-Instituut slaagden erin ze te maken. Daartoe brachten ze een gen uit maïs over in petunia. Het gen codeert voor het enzym dat de oranje kleurstof uit andere pigmenten kan maken.

FLORISSANTE TECHNIEKEN



De bloem is letterlijk en figuurlijk de bekroning van een plant. Voor alles herbergt zij echter de geslachtsorganen van de plant. Bij de meeste bloeiende planten verzorgen dieren die de bloem bezoeken de bestuiving en daarmee de voortplanting. Gekleurde bloembladeren en meeldraden oefenen een grote aantrekkingskracht uit op bestuivers. Zij vervullen aldus een belangrijke functie in de bloembioëlogie. De instructies voor de aanmaak van bloemkleurstoffen liggen in genen op het DNA. Nu het mogelijk is nieuwe genen aan een plant te geven of bestaande uit te schakelen, zijn bloemenkleuren extra aantrekkelijk geworden voor genetici. De effecten van hun experimenten kunnen zij aan een bonte ruiker beoordelen.

Jos Mol

*Afdeling Genetica
Vrije Universiteit Amsterdam*

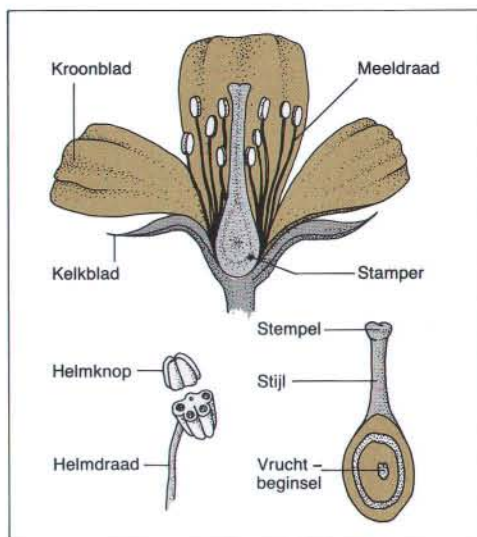
Wil een organisme succesvol tot ontwikkeling komen, dan is het nodig dat op het juiste tijdstip, op de juiste plaats en op de juiste wijze de genetische instructies op het DNA in een bouwplan worden vertaald. Tot voor kort konden celbiologen dit proces alleen uit allerlei verschijnselen afleiden en hadden ze slechts de beschikking over een minitieuze beschrijving ervan op celniveau. De ontwikkeling van de recombinant-DNA-technologie in de vroege jaren zeventig maakt de studie van ontwikkelingsbiologische processen nu ook op DNA-niveau mogelijk. Daar komt nog bij dat vele soorten planten tegenwoordig vrij gemakkelijk van nieuwe genetische informatie kunnen worden voorzien, via microchirurgie met de bodembacterie *Agrobacterium tumefaciens* of met mechanische hulpmiddelen, zoals micro-injectie en micro-projectielen.

Normale bloemkleuren en mutanten daarvan zijn doorgaans in een oogopslag waar te nemen en dat maakt ze interessant voor wetenschappelijk onderzoek. Gregor Mendel, de grondlegger van de erfelijkheidsleer, bestudeerde ze reeds in de vorige eeuw. In de eerste helft van deze eeuw zijn de chemische structuurformules van bloempigmenten opgehelderd en vandaag de dag kennen we ook de enzymen die bij de synthese ervan een sleutelrol spelen.

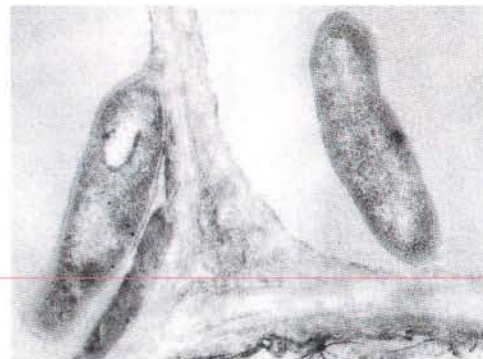
De ontwikkeling van de recombinant-DNA-technologie heeft het mogelijk gemaakt enkele van de genen die een sleutelrol vervullen bij de bloemkleursynthese, te isoleren en hun opbouw en expressie verder te bestuderen. Sinds 1982 is het zelfs mogelijk planten te voorzien van nieuwe genetische informatie. Deze technologie heeft nieuwe wegen geopend om te komen tot bloem(kleur)veredeling op moleculair niveau en heeft reeds tot spectaculaire resultaten geleid.

Bloemkleursynthese

Flavonoiden vormen de grootste categorie bloempigmenten. Hun structuur is eenvoudig en afgeleid van het aminozuur fenylalanine (zie afb. 3). Via een aantal enzymatische omzettingen wordt uit fenylalanine cumaarzuur gevormd. Dit zuur vormt de basis voor de synthese van het eerste flavonoid, het geelgekleurde *naringenine* (*chalcon*). Via een groot aantal subtiele modificaties aan dit 'basis-skelet' kan



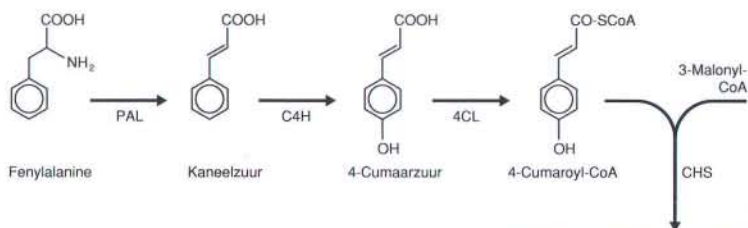
1



2

in bloemen een hele reeks pigmenten worden gemaakt, waarvan de kleur varieert van licht-oranje tot donkerviolet. Voor elk van deze omzettingen is een specifiek enzym noodzakelijk en dat impliceert de betrokkenheid van minstens evenveel genen.

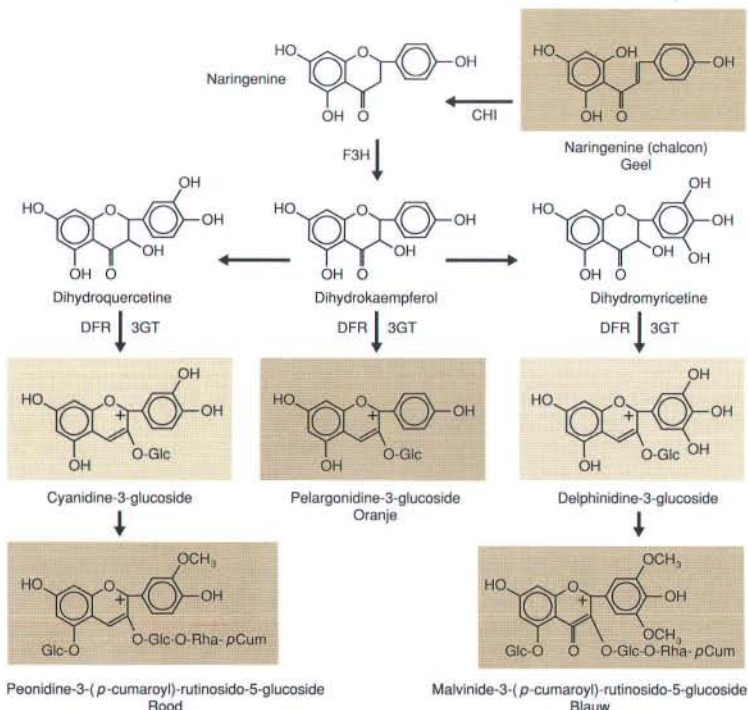
Uit klassiek-genetische experimenten met vooral de planten petunia, maïs en leeuwebek is vast komen te staan dat er tenminste vijftig genen een rol spelen bij de aanmaak van bloemkleuren. Een aantal van deze genen codeert voor de biosynthese-enzymen, maar sommige specificeren regel- en transportfuncties. Immers, de bloemkleurgenen zullen gedurende de bloemontwikkeling alle op het juiste tijdstip en in het juiste orgaan moeten worden aangeschakeld. Om dit in goede banen te lei-



1. Schematische voorstelling van een complete bloem met zijn vier orgaan-systemen: kelkbladen, kroonbladen, meeldraden en stamper.

2. Een vrije (rechts) en een aanhechtende *Agrobacterium tumefaciens*. Deze bacterie brengt een deel van zijn DNA in een plantecel binnen en fungeert zo als een natuurlijke injectiespuit.

3. Iedere stap in de biosynthese van bloemkleurstoffen wordt verzorgd door een apart enzym. CHS: chalcon-synthase; CHI: chalcon-isomerase; F3H: flavanon-3-hydroxylase; DFR: dihydroflavonol-4-reductase; 3GT: glucosyltransferase. De cyanidinen zijn rood, de pelargoniden oranje en de delphinidinen blauw-purper.



3

den moet er dus een of andere vorm van communicatie tussen de samenwerkende genen kunnen bestaan.

Bloempigmenten komen alleen voor in de binnenste laag cellen van een bloemblad en in enkele cellen van de eigenlijke voortplantingsorganen en van de zaadhuid. Microscopische analyse van bloemcellen leert dat flavonoiden voorkomen in kleine celcompartimenten: de vacuolen. Hoe transport en opslag tot stand komt en worden gereguleerd is nog niet in detail bekend; er zijn echter wel genen geïdentificeerd die hierbij een rol spelen.

De uiteindelijke kleur van een bloem wordt niet alleen bepaald door de mixture aan verschillende flavonoiden. De zuurgraad (pH) van de vacuole die, althans in petunia, gene-

tisch is bepaald speelt ook een rol bij de kleurontwikkeling. De zogenaamde delphinidinen zijn blauwer naarmate de pH van de vacuolen hoger is. Ook kan binding van pigmenten onderling en met metalen tot kleurverschuivingen leiden.

Bloemkleurgenen

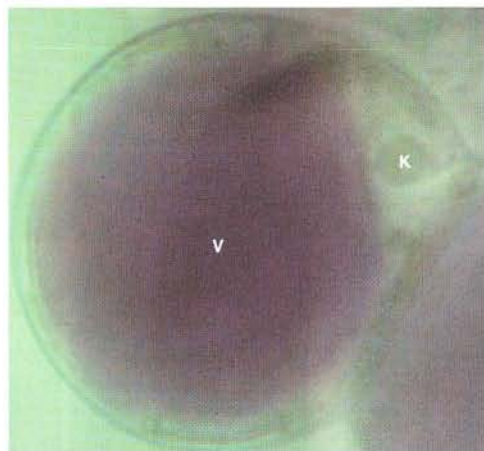
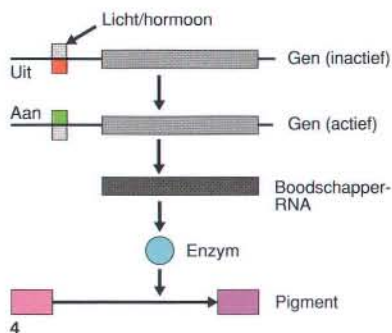
Het eerste flavonoidgen werd geïsoleerd uit peterselie. Het is het gen voor het eerste enzym uit de biosyntheseroute: chalcon-synthase (CHS). Inmiddels is dit gen uit een groot aantal planten geïsoleerd en zijn er ook genen voor andere enzymen bekend. Vaak blijkt dat van bloemkleurgenen meerdere kopieën per cel voorkomen. Voor chalcon-synthase werden

4 en 5. Bloemkleurstoffen ontstaan uit elkaar, maar ontstaan alleen als de genen die coderen voor de enzymen uit de biosynthese-

6. Bloempigmenten bevinden zich in vacuolen (V). Dit zijn 'blaasjes' die een

seroute worden 'aangezet' door schakelaars, ook wel promotoren genoemd. Ieder gen heeft zo'n schakelaar.

groot deel van de het celvolume kunnen innemen. K duidt de celkern aan.



6

maar liefst tien, voor chalcon-flavanon-isomerase (CHI) twee en voor dihydroflavonol-4-reductase (DFR) drie genen geïdentificeerd en geïsoleerd.

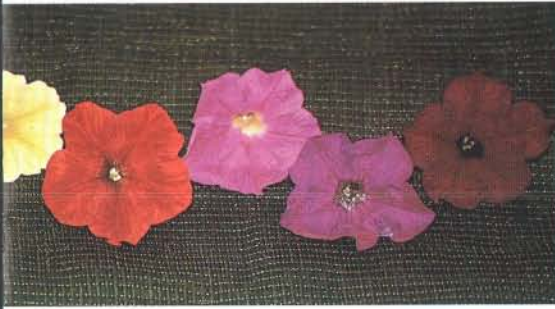
Flavonoïdgenen vormen dus zogenaamde genfamilies, groepen genen die in hun basenpaarvolgorde op het DNA sterk op elkaar lijken. Binnen die families bevinden zich ook genen die niet functioneel zijn, of waarvan tot nu toe nog nooit enige genetische activiteit kon worden aangetoond. We veronderstellen dat genfamilies uit één oergen zijn ontstaan door herhaalde duplicaties van dat gen en dat sommige familieleden in de loop van de evolutie door mutaties zijn geïnactiveerd. Op dit ogenblik zijn van de chalcon-synthase-genfamilie uit petunia nog slechts twee leden actief. Bestudering van bloemkleurgenen levert dus ook informatie op over de evolutie van genen in het algemeen!

Genen worden 'gestuurd' door schakelaars, ook wel *promotoren* genoemd. Dit zijn stukken DNA die pal naast het gen dat ze schakelen liggen. De promotoren die de produktie van enzymen uit de pigmentroute sturen, hebben gemeenschappelijke elementen die een rol spelen bij het schakelproces. Algemeen is men het erover eens dat er specifieke eiwitten aan schakelaars binden en daarbij het decodeerproces in gang zetten. Bij dit decoderen wordt er een exacte kopie (boodschapper-RNA) gemaakt van één van de DNA-strengen. Die kopie wordt vervolgens vertaald in een eiwit met een bepaalde functie; het is bijvoorbeeld een enzym dat een rol speelt bij de produktie van kleurstoffen.

Voor de specifieke schakeleiwitten van de flavonoïdgenen coderen natuurlijk ook weer genen, waarvan we er een aantal kennen. Nu we deze genen kunnen isoleren, is de weg open om de start van het decodeerproces te ontrafelen.

Hormonale regulatie

Uit fysiologisch onderzoek blijkt dat de bloemkleursynthese afhankelijk is van externe factoren, zoals licht en temperatuur, en van interne, zoals hormoonbalansen. Zo is de aanwezigheid van meeldraden essentieel voor bloemgroei en pigmentatie bij petunia. Verwijdering van één meeldraad leidt tot groeiachterstand van het blad achter de meeldraad, dat ook ongepigmenteerd blijft. Toediening van gibberelline (GA), één van de vijf tot nu toe bekende plantenhormonen, compenseert voor verwijdering van de meeldraad. Dit leidt tot de gedachte dat GA in de meeldraden wordt gemaakt en van daar in de kroonbladen



terechtkomt, waar het groei en kleur reguleert. Vervolgonderzoek heeft aangetoond dat GA een directe rol speelt bij het decoderen van flavonoidgenen, waarschijnlijk via een interactie met de promotor.

Genetische manipulatie

Een intrigerend aspect van bloemkleurontwikkeling is dat geen enkele plantesoort het volledige spectrum aan bloemkleuren produceert.

Bloemontwikkeling

Planten groeien door celdeling aan de groeipunten (meristemen). Of de nieuwgevormde cellen een bloem gaan vormen hangt af van omgevingssignalen zoals licht, temperatuur of daglengte, alsook van interne factoren zoals leeftijd en hormoonspiegels. Bloemvorming gaat gepaard met een reorganisatie van het meristeem. Er ontstaat een organisatiepatroon met een concentrische groepering van cellen die, van buiten naar binnen, uitgroeien tot kelkbladen, kroonbladen, meeldraden en stamper.

Het wordt nu mogelijk de genen op te sporen die de plantecellen aanzetten tot het ontwikkelen van deze geordende structuren. Een recente doorbraak was de ontwikkeling van het *in-vitro*-bloemknopsysteem. Hierbij kunnen in de reageerbuis meristemen

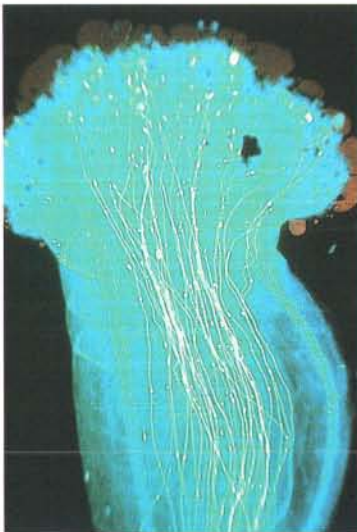
worden aangezet tot scheut-, wortel-, of knopvorming. Dit systeem wordt enerzijds gebruikt om factoren te identificeren die tot bloei leiden en anderzijds om genen te identificeren en te isoleren die worden aangeschakeld in de vroegste fasen van bloemknopontwikkeling.

I-1. Groeiende pollenbuisen in een stamper. Op de stempel liggen de pollen-

korrels van waaruit de buizen naar het vruchtbegin-sel groeien.

I-2. Deze *in-vitro*-bloemknop ontstond uit een stukje bloemsteel dat tot groei werd aangezet met

kleine suikerpolymeren. Deze kweekmethode is van belang voor het onderzoek naar bloemvorming.



I-1



I-2

Zo bestaan er geen donkerblauwe tulpen, anjers, chrysanten en rozen. Evenmin zijn er oranje petunia's, simpelweg omdat de enzymen die die kleurstof produceren niet in de plantesoort aanwezig zijn. Zo ontbreken de pelargonidines in petunia (zie ook afbeelding 3), omdat het enzym dihydroflavonol-4-reductase (DFR) uit petunia kaempferol niet kan omzetten in pelargonidine; het kan alleen quercetine en myricetine omzetten. Dihydroflavonol-4-reductase uit maïs en leeuwebek

kan deze omzetting echter wél uitvoeren. In 1987 is het voor het eerst gelukt het DFR-gen uit maïs in petunia tot expressie te brengen, met oranje petunia's als resultaat. Het overbrengen van een vreemd gen leidde dus tot een nieuwe biosyntheseweg in de bloemkleurvorming van petunia. Binnen enkele jaren zullen er waarschijnlijk blauwe rozen en chrysanten bestaan, als de relevante genen uit bijvoorbeeld petunia's naar deze siergewassen zijn overgebracht.

INTERMEZZO

Elk van de vijf typen plantehormonen (beter: groeiregulatoren) auxine, cytokinine, gibberelline, abscisine en etheen speelt wel een of andere rol bij het ontstaan van een bloem. In ieder geval blijkt het *in-vitro*-systeem verschillend te reageren op verschillende soorten cytokininen: zeatine bijvoorbeeld geeft aanleiding tot scheutvorming, terwijl kinetine de knopvorming stimuleert. Zeer recent is gevonden dat oligosachariden, kleine suikerpolymeren, uit de plantecelwand ook in staat zijn bloeinductie in dit systeem te bewerkstelligen (afb. 1-2). Dit laat zien dat bloemvorming door een complex samenspel van factoren wordt gereguleerd.

Sommige planten bevatten afzonderlijke mannelijke en vrouwelijke bloemen. De meeste bloemen

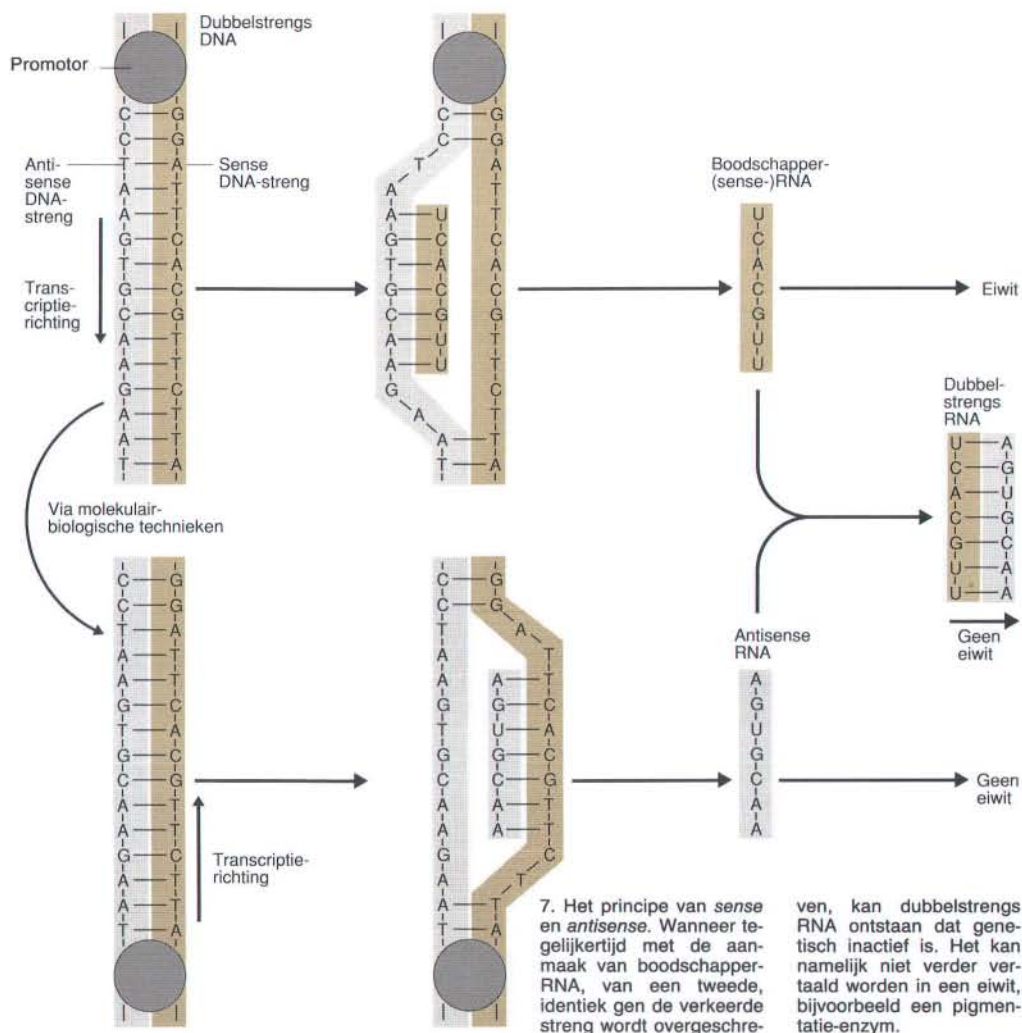
bevatten echter beide voortplantingsorganen en bovendien kelk- en kroonbladen. De kelk- en kroonbladen omgeven en beschermen de voortplantingsorganen en trekken insecten aan voor de bestuiving. Voordat het zover is vindt eerst binnen de helmhokjes van de meeldraden de ontwikkeling van de mannelijke geslachtscellen (het pollen of stuifmeel) plaats en binnen het vruchtbeginsel die van de vrouwelijke. Een van de vroegste gebeurtenissen bij de voortplanting is het contact tussen pollen en stempel. Om tot een succesvolle versmelting van mannelijke en vrouwelijke geslachtscellen te komen groeit er uit de pollenkorrel een pollenbuis, die de mannelijke geslachtscel in staat stelt de vrouwelijke cel te bereiken via de stijl (zie afbeelding 1-1).

Ook na de bevruchting blijft de bloem een centrale rol spelen in de ontwikkeling van de plant. Kroon- en kelkbladen verwelken en sterven af; bevruchte eicellen groeien uit tot zaden in de beschermende omgeving van het vruchtbeginsel. Wanneer de zaden rijp zijn kunnen ze ontkiemen en kan de cyclus opnieuw beginnen.



1-3

1-3. In plaats van vijf kelken en vijf kroonbladen maakt deze mutant tien kelkbladen. Bij zo'n zogenaamde homeotische mutatie is de normale ontwikkeling van een organisme ontregeld.



7

Sense en antisense

Recent werd de mogelijkheid onderzocht gericht in te grijpen in de biosynthese van bloempigmenten, door slechts één specifiek gen uit te schakelen en daardoor een onderbreking aan te brengen in de biosyntheseketen. Dit zal dan moeten leiden tot ophoping van het pigment dat normaal gesproken door het ontbrekende enzym wordt omgezet. Zouden we bijvoorbeeld het CHS-gen uitschakelen dan verwachten we een witte bloem; schakelen we het CHI-gen uit dan wordt de bloem geel.

Het aanbrengen van mutaties op de klassie-

ke manier, met behulp van mutagene stoffen of straling, is tijdrovend en ongericht en vereist altijd een selectie achteraf. Het is echter mogelijk genen heel specifiek buiten werking te stellen, door het bijbehorende boodschapper-RNA te inactiveren. Dit RNA kan dan immers niet meer in eiwitten worden vertaald. Het RNA kan buiten spel gezet worden met de zogenaamde *antisense*-techniek.

Van de beide complementaire (op elkaar passende) DNA-strengen wordt slechts één streng overgeschreven in boodschapper-RNA. Dit RNA wordt direct door ribosomen vertaald in een eiwit en wordt daarom *sense*, 'zinnig',

genoemd. Omdat dit sense-RNA complementair is aan één van de beide DNA-strengen, heet deze coderende DNA-streng de *antisense*-streng (afbeelding 7). De niet-coderende of sense-streng van het DNA kan wel antisense-RNA opleveren, maar dit codeert niet voor een eiwit. Als we er echter voor zorgen dat in een cel sense- en antisense-RNA aanwezig zijn, kunnen beide een dubbelstrengs RNA-keten vormen. Ribosomen kunnen zulke structuren niet in een eiwit vertalen en het effect lijkt dus op dat van een mutatie waarbij het gen zijn functie verloren heeft.

Dit antisense-effect kan via genetische manipulatie in principe voor ieder gen worden ge-

realiseerd. Hiertoe wordt in een bacterie een gen met behulp van recombinant-DNA-technieken 180° gedraaid ten opzichte van zijn promotor. Dit antisense-gen wordt vervolgens overgebracht naar een plant. Naast het normale gen wordt in de plant nu ook het gen met de 'verkeerde' streng overgeschreven. Het daarbij gevormde antisense-RNA kan vervolgens het normale boodschapper-RNA inactiveren.

Als we zo het CHS-gen blokkeren, is het resultaat onmiddellijk zichtbaar. Planten die een antisense-CHS-gen tot expressie brengen vertonen bloemkleurintensiteiten die liggen tussen normaal en volledig ontkleurd. Dit is waarschijnlijk een gevolg van het feit dat bij de



8



9

overdracht van het antisense-gen met de bacterie *Agrobacterium tumefaciens*, het ingebrachte gen op een tamelijk willekeurige plaats op één van de plantechromosomen terecht komt. Afhankelijk van deze plaats zal de expressie van het ingebrachte gen hoog of laag zijn en zal het de pigmentatie meer of minder effectief verhinderen.

Ring en sterren

Vaak treden na een antisense-behandeling kleurpatronen als ringen en sterren in de bloem op. Deze zijn extreem gevoelig voor licht, temperatuurschommelingen en hormoonbehandelingen met bijvoorbeeld gibberelline. Patroonvorming komt ook voor in 'natuurlijke' variëteiten van petunia, viooltje en vlijtig liesje, maar is nooit waargenomen in snijbloemen als roos, anjer en gerbera. De antisense-techniek brengt mogelijk ook bij deze planten tweekleurige cultivars binnen bereik.

Het toevoegen van extra, reeds aanwezige bloemkleurgenen (sense) zou kunnen leiden tot een hogere enzymproductie en daardoor tot

een hogere pigmentopbrengst. In de praktijk blijkt dit echter averechts te werken. Net als bij toevoeging van het antisense-gen wordt een kleurreductie waargenomen die volledig kan zijn. Soms treedt er ook patroonvorming op (de sense- en antisense-patronen kunnen verschillen).

De resultaten van de sense- en antisense-experimenten laten duidelijk zien dat het niveau van CHS-genexpressie nauwkeurig is gereguleerd. Zowel verlaging als verhoging ervan leidt tot aanzienlijke ontregeling. Vermoedelijk zal ook de sense-techniek nieuwe, (twee-)kleurige snijbloemen opleveren.

Houdbaarheid

Het is reeds geruime tijd bekend dat verouderende bloemen van gewassen zoals petunia en anjer etheen (ethyleen, C_2H_4) produceren en dat etheen de bloemveroudering versnelt. Niet alleen de produktie van, maar ook de gevoeligheid voor etheen lijkt bij veroudering toe te nemen. Bloemveroudering kan dan ook vertraagd worden door remmers van de etheenbiosynthe-

8. Een natuurlijke variëteit van Petunia: rode ster.

9. Een petunia waaruit in het knopstadium de meeldraden zijn verwijderd lijdt aan groei- en pigmentatiestoornis (midden). Besproeiing met het plantehormoon GA leidt tot herstel (rechts).

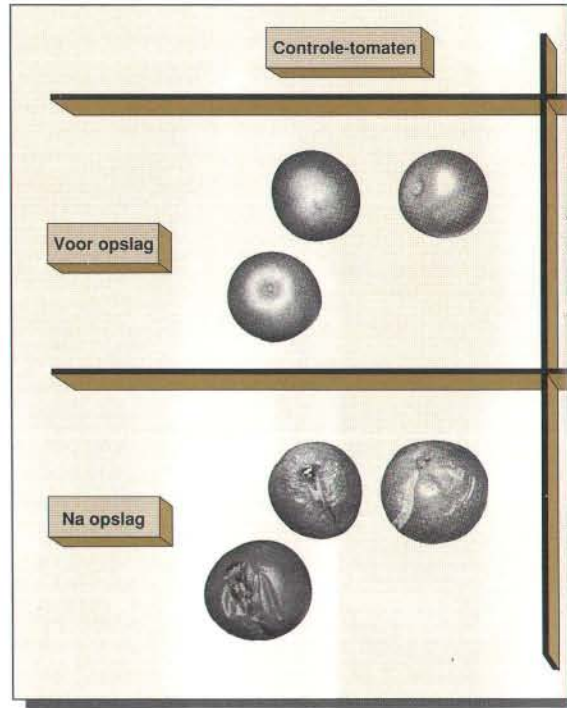
10, 11 en 12. De verschillende patronen in deze bloemen zijn veroorzaakt door het inbrengen van antisense- (10) en sense-CHS-genen.

13. Anjers kunnen geen delphinidinen maken. Daarom zal in een bonte ruiker nooit een donkerblauwe anjer te vinden zijn.



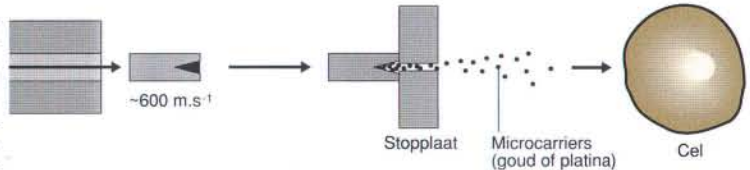
se, of door stoffen die de werking van etheen belemmeren. Niet alle plantesoorten produceren etheen bij veroudering van hun bloemen. Uitzonderingen zijn onder andere chrysant en gerbera, die bovendien ongevoelig zijn voor etheen. De bloemen van deze planten verouderen dus volgens een ander mechanisme.

Bestuiving leidt in veel gevallen tot een versnelde bloemveroudering. Sommige orchideeën zien na bestuiving hun levensduur tot enkele uren verkort. Aangezien bij de bestuiving de meeldraden en de stamper worden beroerd, moet er een signaal van deze organen naar het bloemblad worden getransporteerd om daar de veroudering in te leiden. In petuniabloemen vindt na bestuiving een hoge productie van etheen plaats, wat de snelle veroudering van de bloem verklaart. Recente proeven laten zien dat groeiende pollenbuizen in het vruchtlichaam de productie van ACC-synthase stimuleren (ACC is een biochemische voorloper van etheen). Het gevormde ACC wordt vervolgens getransporteerd naar de bloembladen waar het wordt omgezet in etheen.



14

14. Een van de eerste commerciële toepassingen van antisense-genen: tomaten die langer goed blijven dan normale tomaten. De firma's ICI in Engeland en Calgene in de VS hebben dergelijke tomaten ontwikkeld. De controle-tomaten lopen bij opslag eerder schade op dan de antisense-tomaten.



15, 16 en 17. Het DNA-kanon. Bij deze techniek worden met DNA bedekte goud- of platinadeeltjes met bruut geweld in een levende cel geschoten. Daarvoor gebruikt men een aangepast geweer. Het dramatische effect wordt hier gedemonstreerd aan een maïskorrel, waarin een ontbrekend kleurgene is geschoten. In de geraakte cellen vindt kleurherstel plaats.



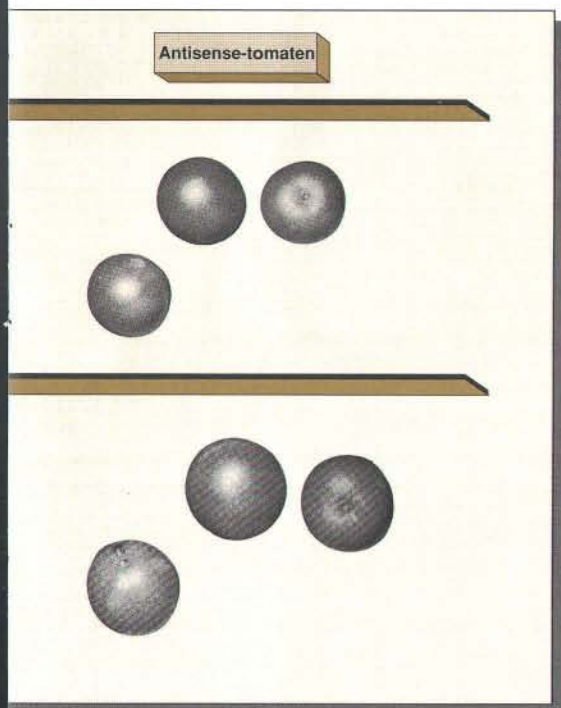
15



16



17



Met de antisense-techniek kunnen we de houdbaarheid van siergewassen verhogen. Dit kan enerzijds door etheen-biosynthese-genen te blokkeren en anderzijds door te verhinderen dat de etheenreceptor (de bindingsplaats van etheen) wordt aangemaakt.

Met de ontwikkeling van gen-isolatie, -manipulatie en -transformatie is een nieuw tijdperk van moleculaire bloem(kleur)veredeling aangebroken. Manipulatie van de genen die betrokken zijn bij bloempigmentatie en houdbaarheid, zal leiden tot variëteiten met nieuwe kleuren en een langere levensduur.

Sommige produktiekenmerken, zoals synchronisatie en timing van bloei, worden hormonaal gereguleerd. Voordat genetische manipulatie ervan mogelijk wordt moet echter meer fundamentele kennis over de hormonale regulatie voorhanden zijn.

Niet alle gewassen lenen zich even goed voor het overbrengen van genen met *A. tumefaciens*. De ontwikkeling van mechanische methoden voor deze recalcitrante gewassen (een bombardement met DNA-bevattende goud-

deeltjes of micro-injectie) is een goed alternatief. Een onderzoeker moet over 'groene vingers' beschikken om uit de plantecellen met een nieuw gen volwassen planten te kweken. Hij moet het juiste weefseltype in het juiste ontwikkelingsstadium op de meest uitgebalanceerde voedingsmedia plaatsen om scheutvorming te krijgen. Voor bijvoorbeeld de anjer is dat nog nauwelijks gelukt.

Over de mogelijke gevaren die kleven aan het in het milieu brengen van transgene planten is nog altijd een discussie gaande, evenals over de discrepantie die er nog steeds bestaat tussen het octrooirecht en het tot nu voor planten gehanteerde kwekersrecht. Ondanks deze complicerende factoren zullen de eerste transgene planten vermoedelijk binnen vijf jaar op de markt verschijnen.

Literatuur

- Botterman J. Genmanipulatie van planten. *Natuur & Techniek* 1989; 57: 5, 378-387.
- Broertjes C. Veredeling van siergewassen - Bloemkleuren uit het laboratorium. *Natuur & Techniek* 1981; 49: 6, 420-439.
- Drews G, Goldberg R. Genetic control of flower development. *Trends in Genetics* 1989; 5, 256-261.
- Lindhout P, Kramer Th. Tomaten - Van massaselectie tot manipulatie. *Natuur & Techniek* 1990; 58: 5, 352-364.
- Mol J, e.a. Saying it with genes: molecular flower breeding. *Trends in Biotechnology* 1989; 7, 148-153.
- Voesenek LACJ, Harren FJM, Woltering EJ. H_2C/CH_2 - Een gas als hormoon. *Natuur & Techniek* 1990; 58: 3, 204-215.
- Weintraub HM. Antisense RNA and DNA. *Scientific American* 1990; 262: 1, 34-40.

Bronvermelding illustraties

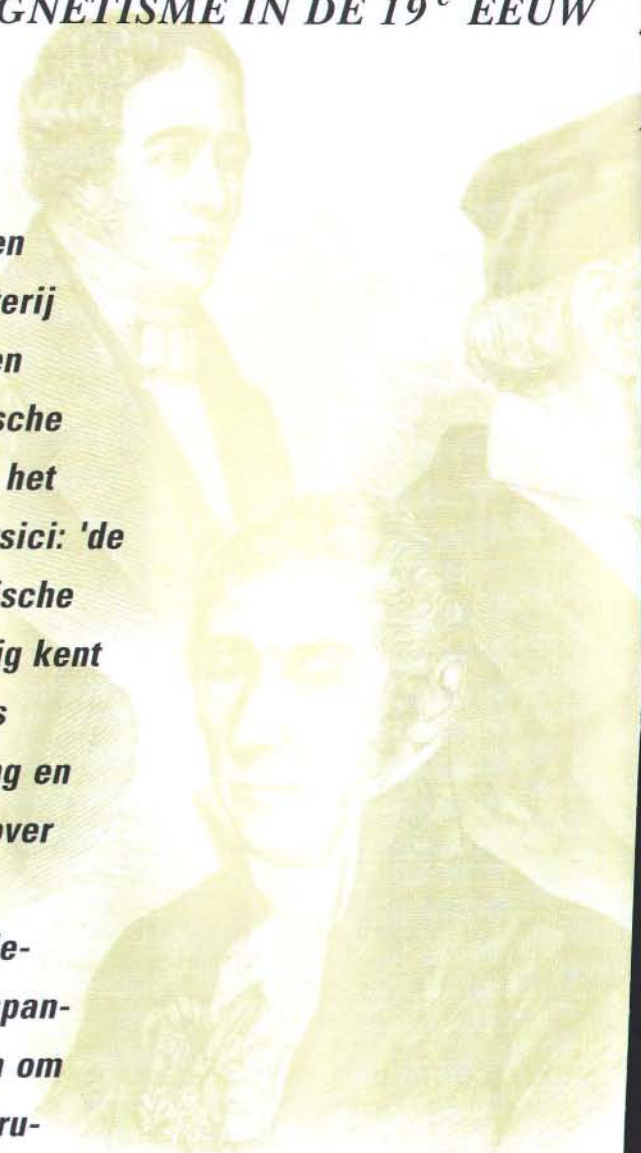
- F. Lin, I. Heidemann, H. Saedler en P. Meyer/MPI, Keulen: 540-541
- Vakgroep Moleculaire Plantkunde, RU Leiden: 2
- Foto Ingrid Bönig, met toestemming van prof A.E. Clarke, Plant Cell Biology Centre, School of Botany, University of Melbourne, Parkville, Australië: 1-1
- Eberhard et al. Uit: *The Plant Cell*, vol. 1, 8, augustus 1989: 1-2
- ICI-Seeds, Haslemere, UK: 14

De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur

De elektrische

STROOM EN MAGNETISME IN DE 19^e EEUW

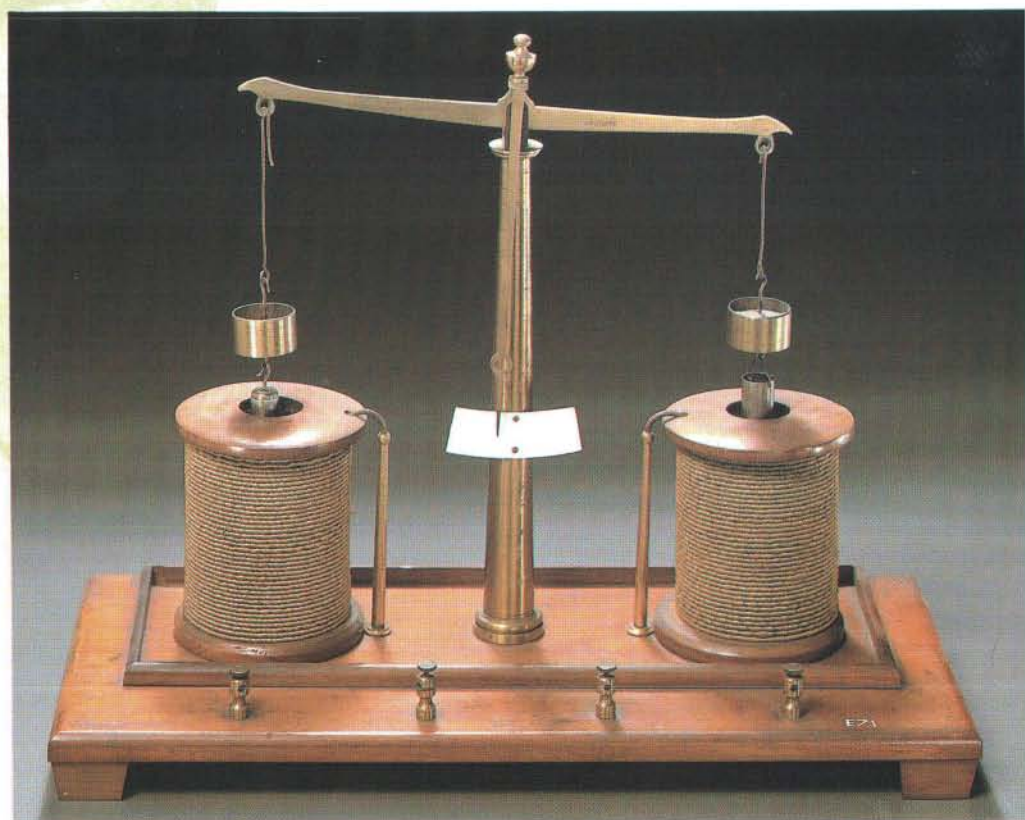
Toen Volta rond 1800 een eerste primitieve batterij samenstelde, kwam een nieuwe klasse elektrische verschijnselen binnen het gezichtsveld van de fysici: 'de werkingen der galvanische stromen'. Tegenwoordig kent iedereen begrippen als stroomsterkte, spanning en weerstand. Voor het zover was, hebben diverse generaties negentiende-eeuwse fysici veel inspanningen moeten leveren om betrouwbare meetinstrumenten te ontwikkelen en de juiste eenheden vast te stellen.



oertijd

Volta, Ampère, Gauss, Weber; de namen van wetenschappers uit de vorige eeuw zijn nog steeds verbonden met elektriciteit en magnetisme. Een van de apparaten die in de vorige eeuw werd uitgevonden is de magnetische balans. Weekijzeren kernen worden door het magnetisch veld, dat een elektrische stroom in de spoelen veroorzaakt, aangetrokken.

W. Boelhouwer
Leusden



Aan het begin van de negentiende eeuw boekten de natuurkundigen bij hun onderzoek van de elektrische stromen maar weinig vooruitgang. Zij ontdekten weliswaar de warmte-ontwikkeling, de elektrolyse en het booglicht, maar door het ontbreken van meetapparatuur en een theoretisch kader bleef de kennis zeer beperkt. Ook was het niemand duidelijk dat er een relatie bestond tussen de galvanische stromen en de al eerder bekende elektrostatische verschijnselen.

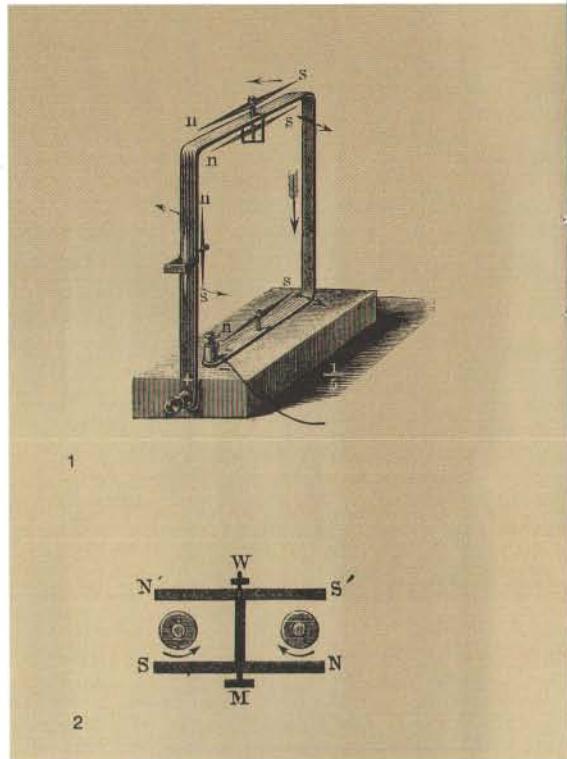
In 1820 publiceerde Oersted te Kopenhagen een sensationele ontdekking: een galvanische stroom oefent een kracht uit op een kompasnaald. Deze ontdekking baarde veel opzien, omdat deze zogenaamde elektromagnetische kracht probeert de kompasnaald dwars op de stroomdraad te zetten, terwijl alle tot dan bekende krachten hun werking langs de verbindingsslijn der krachtcentra uitoefenen.

De proef werd onmiddellijk overal in Europa nagedaan. Ampère wikkeld de stroomdraad tot een spoel en zag dat zo'n spoel dezelfde eigenschappen heeft als een gewone staafmagneet. Hij ontdekte ook dat twee draden met gelijk gerichte stromen elkaar aantrekken, en twee draden met tegengesteld gerichte stromen elkaar afstoten.

Multiplicator

In Duitsland kwamen Schweigger en Poggen-dorff op het idee om de stroomdraad in lussen om een zeer licht uitgevoerde kompasnaald te wikkelen. De draaiing van de naald in de holte van de wikkelingen is een maat voor de stroomsterkte. Dit door hen *multiplicator* gedoopte apparaat is het eerste instrument waarmee men elektrische stroom kon meten.

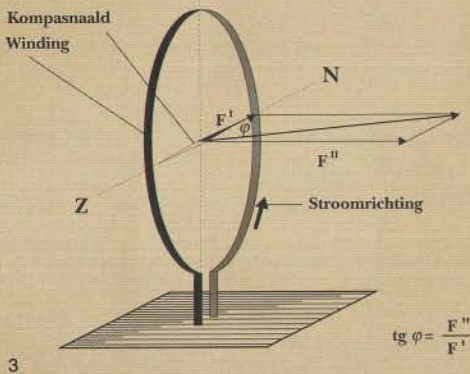
Er waren nogal wat factoren die het gebruik van de multiplicator behoorlijk bemoeilijkten. Elke gebruiker moest zijn multiplicator zelf maken. Bovendien dienden de onderzoekers elk instrument apart te ijken. De schaalverdeling varieerde immers per multiplicator omdat elke kompasnaald nu eenmaal zijn eigen sterkte heeft en men geen methode kende om de sterkte van een kompasnaald te meten. Er was dus geen vast verband tussen stroomsterkte en draaihoek bekend. De minst omslachtige graderingsmethode, of methode voor het aanbrengen van een schaalverdeling, maakte gebruik van thermostromen: bij elk tempera-



tuurverschil tussen de lasplaatsen van het thermo-element hoorde een bepaalde stroom, die correspondeerde met een zekere draaiing van de kompasnaald.

Na inschakeling van de stroom trilde de magneetnaald hinderlijk lang voordat hij een nieuwe evenwichtsstand innam. Fechner, die na 1845 naam zou maken als een van de grondleggers van de waarnemingspsychologie, maakte rond 1830 van deze nood een deugd: hij merkte op dat de eerste uitslag van de magneetnaald juist het dubbele was van de uiteindelijke draaiing. De meting van deze eerste uitslag was echter moeilijk nauwkeurig uit te voeren. Nadat Fechner had bewezen dat de stroomsterkte omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de trillingsperiode, verving hij de meting van de eerste uitslag van de naald door de meting van deze periode. Deze methode bleef jarenlang in gebruik, tot men onder de knie kreeg hoe men trillingen van de kompasnaald effectief kon dempen.

Vooraf bij wat sterkere stromen raakte de



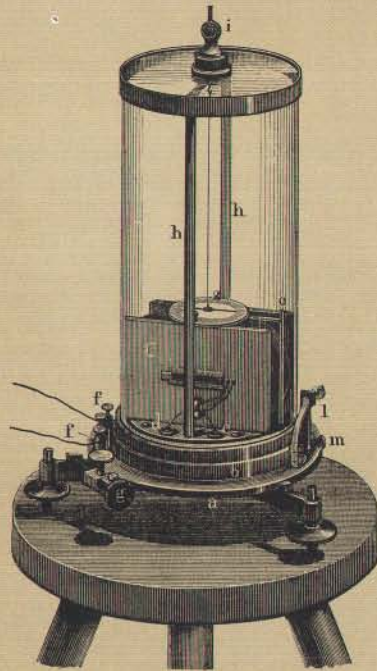
3

1. Kompasnaalden gemonteerd rondom een vierkant draadraam geven de richting aan van het elektromagnetisch veld dat door een elektrische stroom wordt veroorzaakt.

2. Slechts één naald hangt in de spoel. De naalden zijn tegengesteld gemonteerd. W is een spiegel en M is een contragewicht.

3. Bij ingeschakelde stroom werken op de kompasnaald in een tangensboussole de elektromagnetische kracht en de aardmagnetische kracht.

4. In de multiplicator is een spoel tussen twee platen gewikkeld. Een kompasnaald richt zich naar het magnetisch veld ontstaan door elektrische stroom.



4

magneetnaald een beetje extra gemagnetiseerd, waardoor de met zoveel moeite uitgevoerde ijking van de schaalverdeling minder betrouwbaar werd. Bij zwakke stromen was de invloed van het aardmagnetisme zo groot dat de naald nauwelijks wilde draaien. Men had al snel in de gaten hoe dit euvel te bestrijden. Nobili (1826) gebruikte zogenaamde astatische naalden (afb. 2). Poggendorff (1826) hing de astatische naalden op aan een zijden draad, waarop hij een spiegel had geplakt. De torsie van de draad vormde nu, in plaats van het aardmagnetisme, de nodige tegenkracht. De lichtstraal-aflezing vergrootte de nauwkeurigheid van de waarneming enorm.

Ondanks al deze moeilijkheden heeft men met uiteenlopende versies van de multiplicator belangrijke ontdekkingen en uitvindingen gedaan, zoals thermo-elektrische (Seebeck, 1823), weerstandbepaling (Ohm, 1827), inductie (Faraday, 1830), brugschakelingen (Wheatstone, 1843) en de weerstandstemperatuurcoëfficiënt (Becquerel, 1846).

Op zoek naar een betrouwbare eenheid

In 1834 realiseerde Faraday zich dat de elektrolyse-wetten, die hij zojuist had opgesteld, het mogelijk maakten een eenheid voor de stroomsterkte vast te stellen. Immers, bij de elektrolytische ontleding van water is het volume van het per tijdseenheid ontwikkelde waterstofgas afhankelijk van de stroomsterkte. Dit volume was dus een maat die voor alle waarnemers bruikbaar was. Het als meetinstrument gebruikte elektrolysetoestel noemde hij volta-elektrometer.

Deze elektrochemische methode heeft echter nooit geleid tot gangbare meetinstrumenten noch tot een gangbare eenheid. De volta-elektrometer geeft namelijk slechts een gemiddelde waarde aan van de stroomsterkte gedurende vrij lange meettijden, terwijl bovendien een klein en niet te meten deel van het ontwikkelde gas in de vloeistof oplost. Tenslotte hangt het gasvolume nog af van de temperatuur en de atmosferische luchtdruk.

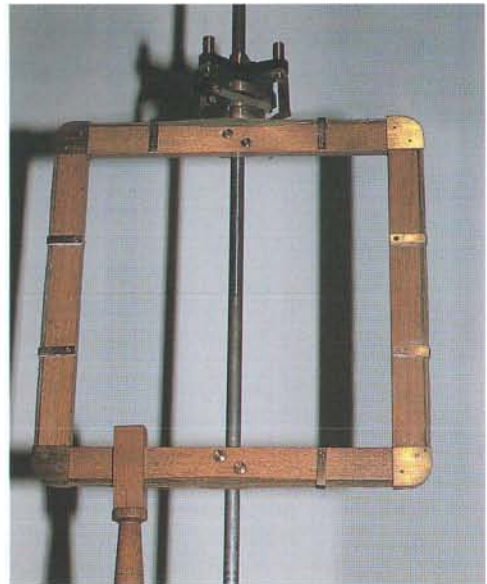
Een beter resultaat boekte Pouillet in 1837 met een elektromagnetische meetmethode. Een kompasnaald is draaibaar in het centrum van een ruime cirkelvormige draadwinding. Het vlak van die winding is het magnetische meridiaanvlak. De punt van de kompasnaald ondervindt een kracht F' , die ontstaat door het aardmagnetisme, en een kracht F'' , die het gevolg is van de stroom in de winding (afb. 3). Door de gezamenlijke werking van de twee krachten draait de naald over een hoek, waarvan de tangens evenredig is met de stroomsterkte. De naam van dit instrument is dan ook: tangens-boussole (boussole = kompas). De stroomsterkte wordt in dit systeem rechtstreeks vergeleken met een vaste maat, namelijk de sterkte van het aardmagnetisme.

Pouillet begreep ook Faraday's inductieverschijnselen. Hij plaatste de kompasnaald in een messing cilindertje. Wervel- of foucaultstromen ontstaan door de magnetische flux wanneer metaal beweegt door een niet-homogeen magnetisch veld of wanneer metaal zich bevindt in een veranderend magnetisch veld. Zij werken de oorzaak van hun ontstaan tegen. De wervelstromen die ontstaan tijdens de beweging van de naald, kunnen de hinderlijke oscillaties dempen.

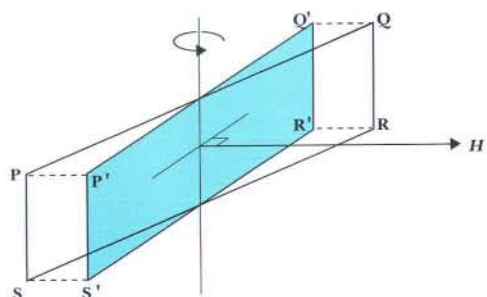
Weber verstrekke in 1842 een precieze definitie van de elektromagnetische eenheid van stroomsterkte: een kringstroom (zoals die voorkomt in de tangens-boussole) met een straal van één centimeter, die per centimeter draadlengte een even grote kracht op een kompasnaald uitoefent als het aardmagnetisme, heeft een sterkte van één eenheid.

Hoewel de tangens-boussole het wat betreft bruikbaarheid wint van de multiplicator, is het nog lang geen ideaal instrument. De aflezing van de naald in het midden van de winding is onhandig, evenals de steeds te controleren NZ-stand van de draadwinding. De veronderstelling dat de elektromagnetische kracht en de stroomsterkte evenredig zijn, geldt strikt genomen alleen in het centrum van de winding. De uiteinden van de naald bevinden zich echter altijd iets buiten het centrum. Dit apparaat reageert slecht op zwakke stromen en is gevoelig voor magnetische invloeden van buiten. Bij sterker wordende stromen zal de draaihoek steeds dichter bij de limietwaarde van 90° komen, hetgeen niet erg bevorderlijk is voor de meetnauwkeurigheid.

Het duurde nog tot 1851 voordat Weber een apparaat bedacht om door middel van een elektromagnetische methode spanningen te meten. Zijn *aardinductor* is een rechthoekig draadraam PQRS, waarvan de as van draaiing loodrecht staat op de richting van het aardmagnetisme. Wanneer dit raam zo draait dat het geprojecteerde vlak $P'Q'R'S'$ per seconde één vierkante centimeter toeneemt of afneemt, induceert het aardmagnetisme in het draadraam een spanning die door Weber werd gelijkgesteld aan één elektromagnetische eenheid (afb. 5 en 6). Ruim dertig jaar na de ontdekking van het elektromagnetisme was er een daarop gebaseerd eenhedenstelsel ontwikkeld met de bijbehorende (matig functionerende) meetapparatuur.



5



6

Precisie-instrumenten

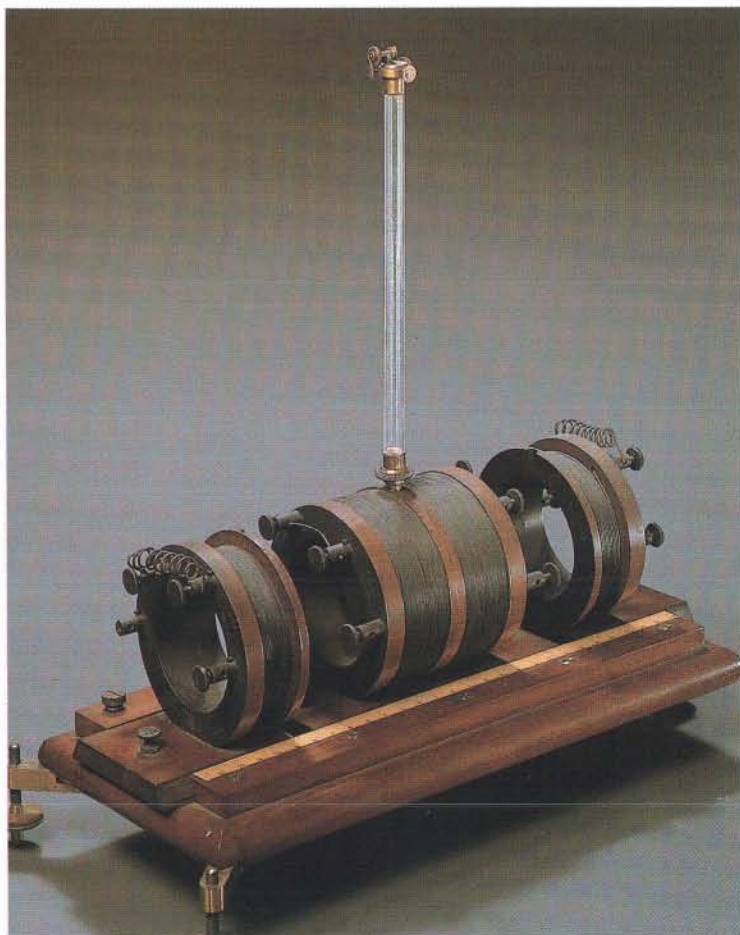
Helmholtz, de meest veelzijdige Duitse fysicus van zijn tijd, loste enkele problemen met de tangens-boussole op. In 1849 toonde hij aan dat de elektromagnetische kracht tussen twee spoelen met straal R en onderlinge afstand R overal op en naast de as even groot is. De stap naar een verbeterde tangens-boussole was nu niet groot (afb. 8). Toch is deze meter nooit populair geworden: hij was wel nauwkeurig, maar niet gevoelig genoeg. De door Helmholtz gebruikte methode om met twee spoelen homogene magnetische velden te maken past men echter nog steeds toe.

Binnen enkele jaren verschenen betere alternatieven voor de tangens-boussole, namelijk

de galvanometers van Wiedemann (1853) en van Thomson (1857). Overigens zijn in beide apparaten de principes van Helmholtz gemakkelijk terug te vinden (afb. 7 en 9). De gevoeligheid van deze meters is zeer groot (het meten van een stroomsterkte van 1 nA lukt uitstekend) dankzij de toevoeging van een 'richtmagneet', die er voor zorgt dat op de plaats van het kompas het aardmagnetisme juist wordt gecompenseerd. Aangezien de richtmagneet verstelbaar was, gelukte het tevens om de gevoeligheid van de meter te regelen. De drijvende kracht van de stroomspoelen wordt niet langer (zoals bij de tangens-boussole) tegengewerkt door het aardmagnetisme, maar door de torsie van de draad waaraan de kompasnaald hangt. Wiedemann vermeldde vol

5 en 6. De aardinductor, uitgevonden door Weber, bestaat uit een houten raam waarop een rechtehoekige geleider is gemonteerd. Zodra het raam draait, zal de flux van het aardmagnetisch veld door het raam per tijdseenheid variëren. Deze fluxverandering induceert een potentiaalverschil over de geleider. Met de aardinductor werd de eerste elektromagnetische eenheid van spanning geïntroduceerd.

7. De spiegelgalvanometer van Wiedemann (1853) is een uiterst gevoelig instrument. Een ringmagneet binnen de messing omhulling is verbonden met een spiegel in een cilinder. Wervelstromen die ontstaan in de omhulling, gaan de trilbeweging van de ringmagneet tegen. De afstand van de buitenste spoelen tot de centrale as is variabel.



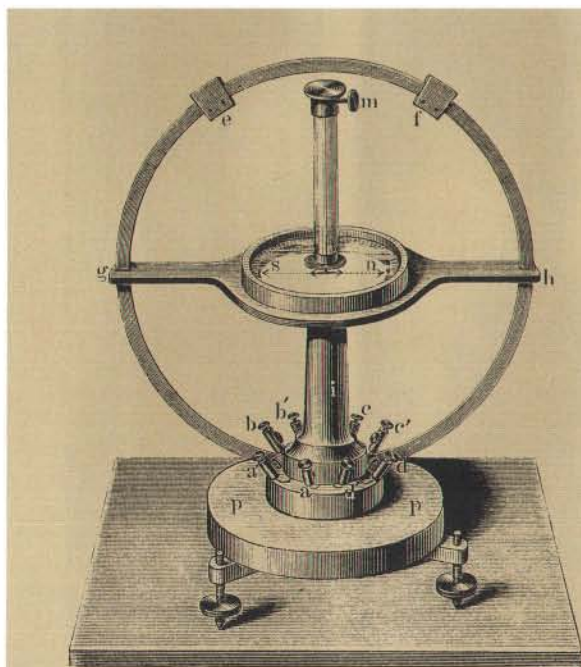
7

trots dat dankzij de demping door wervelstromen zijn galvanometer al na vijf seconden de juiste stroomsterkte aangaf.

Thomsons galvanometer was nog beter. Dankzij een licht spiegelkje (35 mg inclusief miniatuurkompas), een zeer dunne torsiedraad en een effectieve demping was het mogelijk om elke twee à drie seconden een meting te verrichten. In de jaren 1870 wist Thomson (de latere Lord Kelvin) door toepassing van astatische naalden en een richtmagneet de meetgrens verder te verlagen tot ongeveer 0,01 nA, waarmee een der hoogtepunten van de negentiende-eeuwse experimenteerkunst wel was bereikt. Dergelijke instrumenten bleven tot circa 1940 nog vrij algemeen in gebruik voor tal van experimenten op het gebied van de atoom- en kernfysica.

Omdat naaldgalvanometers te veel last hadden van mechanische trillingen en van magnetische storingen, is het niet zo verwonderlijk dat men bleef zoeken naar een beter meetapparaat. Dat verscheen dan ook al snel: de draaispoel-galvanometer van de Franse ingenieurs Deprez en d'Arsonval (1862). Tussen de uitgeholde poolschoenen van een sterke hoefijzermagneet van wolframstaal, toentertijd een nieuw materiaal, plaatsten zij een vaste ijzeren cilinder. In een nauwe luchtspleet kon een licht spoeltje draaien, waarop in elke stand een even groot koppel werkte (afb. 11). Dezelfde constructie werd enkele jaren later ook toegepast bij de dynamo en de elektromotor.

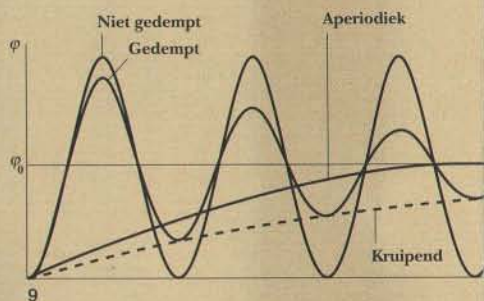
De voordelen van dit systeem liggen voor de hand: de te meten stroomsterkte is evenredig



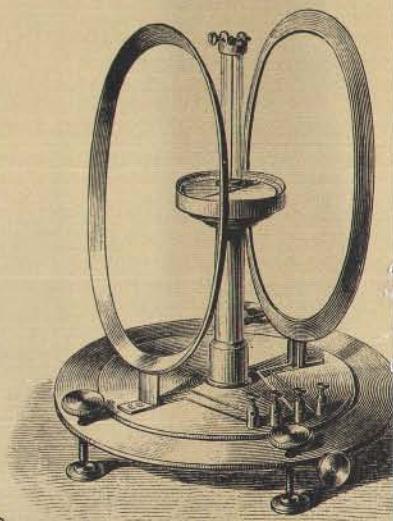
8

8. Tangens-boussole met kompasnaald in een cilinder. Bij ingeschakelde stroom werken twee krachten op de kompasnaald.

10. Helmholtz' tangens-boussole. De afstand van de spoelen tot de naald is gelijk aan de straal van de spoelen. Daardoor bevindt de kompasnaald zich in een homogeen magnetisch veld.

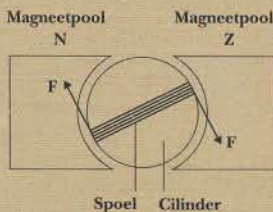
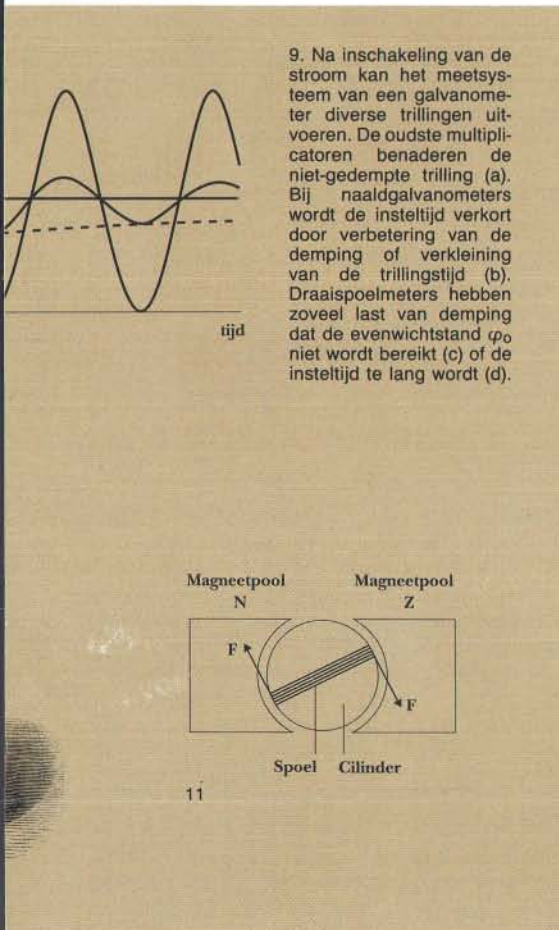


9



10

met de draaihoek zelf en externe magnetische velden kunnen de beweging van het spoeltje niet beïnvloeden. Natuurlijk kan het lichte spoeltje slechts zwakke stromen verdragen, maar door parallelschakeling van weerstanden is dat probleem eenvoudig op te lossen. Tegenover deze gemakken staan maar twee minpunten. Ten eerste kan de draaispoelmeter niet zulke zwakke stromen meten als de naaldgalvanometer. Dat is echter lang niet bij alle gebruik van belang. Ten tweede veroorzaken de wervelstromen in de ijzeren cilinder een zeer grote demping, wat resulteert in een vrij lange insteltijd (afb. 9). Door voorschakeling van vijf à tien maal de eigen weerstand van het spoeltje is het mogelijk de insteltijd binnen de perken te houden.



11

11 en 12. Na inschakeling van de stroom door de spoel ontstaat in de draaispoelmeter een koppel van krachten op de cilinder, die vervolgens draait over een bepaalde hoek. Een veer of de torsie van een draad zorgt voor de nodige tegenkracht.

linder, die vervolgens draait over een bepaalde hoek. Een veer of de torsie van een draad zorgt voor de nodige tegenkracht.



12

Elektrostatisch meten

Elektriciteit kan worden geproduceerd door elektrostatische machines, voltacellen en dynamo's. Welk verband er bestaat tussen die, op zo uiteenlopende wijzen opgewekte stromen, was in de eerste decennia van de negentiende eeuw lang niet duidelijk. Het is dus zo niet verwonderlijk dat er naast het elektromagnetische meetsysteem met zijn galvanometers ook een elektrostatisch systeem ontstond. In de natuurkunde is het trouwens wel vaker voorgekomen dat twee vergelijkbare meetsystemen naast elkaar bestonden; overbodige eenheden als calorie, centimeter kwikdruk, kilogramkracht en curie zijn pas zeer recentelijk afgeschaft.

Nadat men eerst ruwe schattingen maakte aan de hand van de lengte van optredende vonken, kwam als oudste elektrostatisch instrument de elektroscop in zwang. Dit apparaat verschaftte een indruk van de spanning van elektriseermachines en Leidse flessen (de oervorm van de condensator). Omdat er natuur-

De stand van zaken buiten het laboratorium

De ontwikkeling van meetinstrumenten was natuurlijk nauw verbonden met het steeds groeiende aantal toepassingen van de elektriciteit. In het begin had men nog niet zo veel vertrouwen in deze nieuwe energiebron. Men was vooral aangewezen op batterijen, die maar een gering vermogen leverden tegen een veel te hoge prijs. Succesvoller dan deze elektrochemische bronnen werden de elektromagnetische, zoals de dynamo, waarvan de werking berust op Faraday's inductiewet.

In de oudste generatoren (zogenaamde magneto's, afb. I-3) draaide een hoefijzermagneet beurtelings met zijn noord- en met zijn zuidpool voor een spoel. Door de rotatie van de spoel is er een voortdurende afwisseling van toename en afname van de magnetische flux. Men kon echter met die wisselstromen niets beginnen: er was geen meetapparatuur en geen begin van een theorie. De commutator, een toestel dat de stroom in een keten van richting kan veranderen, gebruikte men om de wisselstroom vervolgens in gelijkstroom om te zetten. Met de zo geproduceerde stroom kon slechts een gering vermogen worden geleverd, zodat deze magneto's geen goede vervangers van de batterijen waren.

Tegen 1850 bedacht Wheatstone dat het vermogen kon toenemen als een elektromagneet de hoefijzermagneet verving. Tenslotte vond Werner Siemens in 1866 het dynamoprincipe: het magneetveld dat de stroom moet opwekken, ontstaat door de inductiestroom zelf dankzij het restmagnetisme in de poolshoenen. Het vermogen van deze dynamo's was zo groot dat zij de vertrouwde stoommachines duchtig beconcurrerden.

Aanvankelijk werden de dynamo's op bescheiden schaal toegepast, onder andere als voeding van koolbooglampen, gelijkstroommotoren, telegraafverbindingen en galvanisatieprocessen. Na 1880 raakte de toepassing van dynamo's in een stroomversnelling. De constructie van bruikbare transformatoren heeft daarbij de doorslag gegeven. Dit maakte het mogelijk zeer eenvoudig de elektrische energie te transporteren, waardoor zij in principe overal beschikbaar kwam. Een belangrijk neveneffect was de definitieve verdringing van gelijkstroom door wisselstroom. Gelijkstroom is namelijk niet over grote afstanden te transporteren zonder dat er een groot vermogensverlies optreedt. Deze ontwikkeling werd versneld door de uitvinding van de gloeilamp – die evengoed op wisselstroom als op gelijkstroom kan branden – en de toenemende populariteit van de wisselstroommotor.

Als gevolg van al deze ontwikkelingen ontstond er een behoefte aan praktische meetapparatuur. De eenvoudigste manier om aan deze vraag te voldoen



I-1



I-2

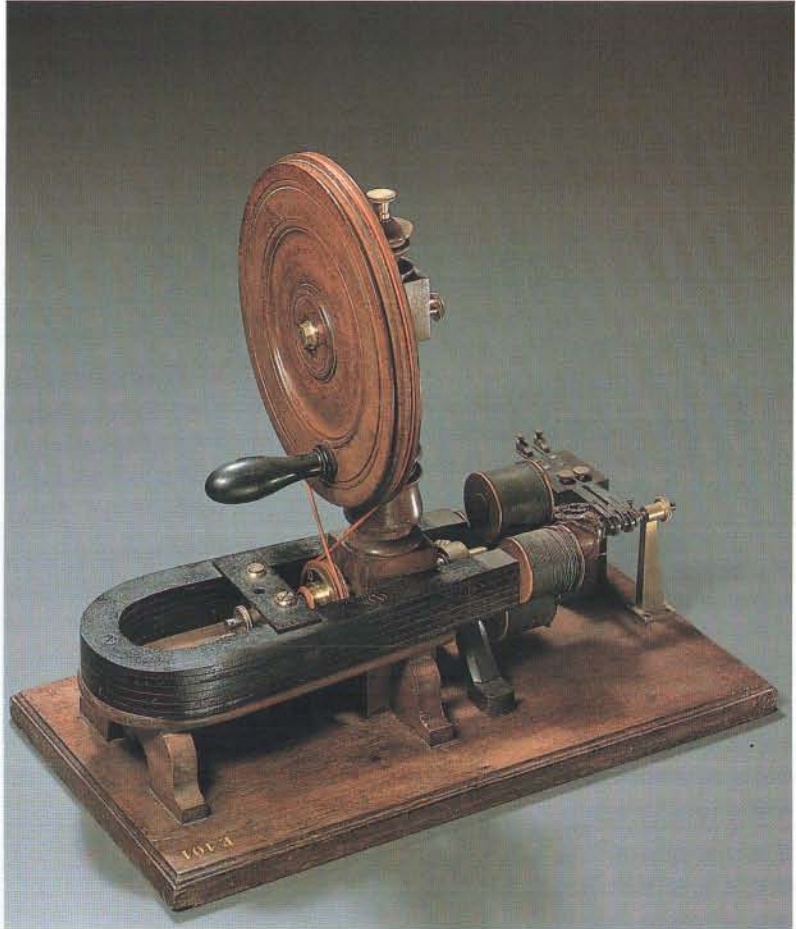
was een aanpassing van de bestaande laboratoriuminstrumenten. Men verving de lichtstraalaflezing door wijzeraflezing en de torsiedraad verdween. De functie van de torsiedraad – het tegenwerken van de beweging van het meetsysteem – werd overgenomen door de zwaartekracht of door spiraalveren. De draaispoelmeters met hun handige lineaire schaal verdienden nu verre de voorkeur boven alle andere typen. Daarnaast kwamen twee nieuwe meters naar voren die geschikt waren om wisselstromen te meten: de weekijzermeter en de hittedraadmeter.

Bij de weekijzermeter loopt de stroom door een verticaal geplaatste spoel, waarboven een weekijzeren cilinder hangt aan een veer. Uitvoeringen waar-

I-1. Werner Siemens vond in de tweede helft van de vorige eeuw een enorme verscheidenheid aan apparaten uit, waaronder wijzertelegrafen en dynamo's.

I-2. De Parijse instrumentenmaker Ruhmkorff ontwierp naast naaldgalvanometers ook de zogenaamde inductieklos, die pulserende hoge gelijkspanningen kan leveren. Deze klos is te beschouwen als de voorloper van de transformator.

I-3. Magneto's zijn in diverse uitvoeringen te vinden: vaste spoel en roterende magneet, roterende spoel en vaste horizontale of verticale magneet, enz. De draaiende beweging van spoelen ten opzichte van een magneet induceert een elektrische stroom.



I-3

bij een weekijzeren plaatje van opzij in een horizontaal geplaatste spoel wordt gezogen komen ook veel voor. Afhankelijk van de stroomsterkte wordt de cilinder meer of minder in de spoel getrokken. Ondanks de robuuste en eenvoudige constructie is dit apparaat niet zo'n beste wisselstroommeter. De weerstand van de spoel moet bijvoorbeeld behoorlijk groot zijn, want een spoel met een klein aantal windingen heeft maar een gering magnetisatie-effect. Bovendien reageert de meter veel te traag op veranderingen van de sterkte van de stroom.

Een soortgelijk slecht rapport krijgt de hittedraadmeter. In dit apparaat zorgt de uitzetting van een door de elektrische stroom verhitte draad voor

het uitslaan van een wijzer. Ook deze meter is te traag. Nog erger is het, dat de draad pas een redelijk meetbare uitzetting vertoont als hij een vrij grote weerstand heeft.

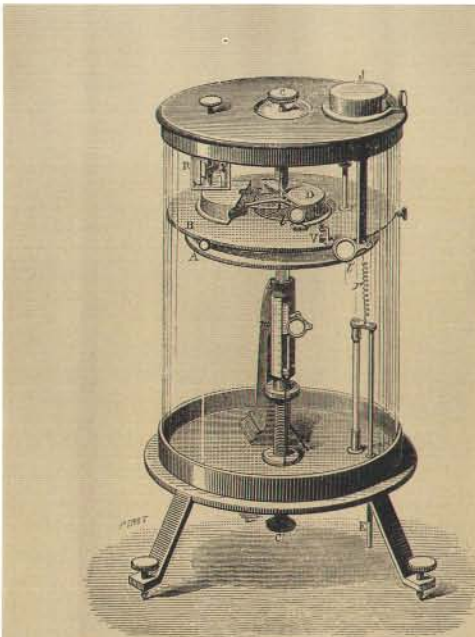
Het lag dus voor de hand, dat men probeerde de draaispoelmeter geschikt te maken voor wisselstromen. Voor het gelijkrichtertijdperk gebruikte men daarvoor een thermo-element of thermokoppel. De wisselstroom verwarmde een van de lasplaatjes. De thermostroom kon vervolgens op de normale manier worden gemeten. De meting was natuurlijk minder nauwkeurig dan de gewone gelijkstroombmeting, maar toch altijd nog beter dan met de zojuist besproken instrumenten.

lijk problemen waren met de ijking van de elektroscopen en met de isolatie van de opstellingen, was de constructie van goede meetapparatuur gewenst. Ook op dit terrein was Thomson een van de pioniers. In 1855 demonstreerde hij zijn absolute elektrometer.

Bij het ontwerp koos hij voor een meting van de aantrekkende kracht tussen twee evenwijdige platen, nadat eerdere pogingen op basis van de afstoting van twee geladen bollen waren mislukt (afb. 13). De constructie met de elkaar aantrekkende platen was echter evenmin probleemloos. Er moest voor worden gezorgd dat de afstand tussen de platen verwaarloosbaar was ten opzichte van de diameter van de platen. De hoogste eisen moesten worden gesteld aan de vlakheid en de evenwijdigheid van de platen.

De absolute elektrometer was niet geschikt om kleine spanningen te meten. Hij werd vooral gebruikt om andere, gevoeliger elektrostatische instrumenten te ijken. Zijn functie was dus enigszins te vergelijken met die van de tangens-boussole, die als ijkstandaard van het elektromagnetisch maatsysteem diende.

Door het succes van de absolute elektrometer en de spiegelgalvanometer, kreeg Thomson de smaak van de constructie van meetapparatuur te pakken. Gespecialiseerde technici werden aangetrokken voor zijn werkplaats in Glasgow, waarvoor Thomson een lange reeks van instrumenten ontwierp (afb. 14). Deze activiteiten legden hem uiteraard geen windeieren.



13

13. Thomsons absolute elektrometer is gebaseerd op de meting van de kracht tussen twee platen. Omdat bij potentiaalmeting de kracht per oppervlakte wordt bepaald, spaarde Thomson in een van de platen een cirkelvormig gat uit dat werd gevuld met een schijf die was verbonden aan een balans.



14

14. Een van de apparaten die Thomson uitvond is de draagbare atmosferische elektrometer.

15. De kwadranten-elektrometer van Thomson meet potentialen tot ca. 300 V met een nauwkeurigheid van 0,01 V.



15

Ampère, volt, ohm

Intussen werd vanuit de praktijk de roep om eenheid in de eenheden steeds luider. In 1862 stelde de British Association for Advancement of Science een commissie in, die de opdracht kreeg een consistent eenhedensysteem voor te stellen voor alle elektrische en magnetische metingen. De commissie stond onder leiding van Maxwell en (allicht) Thomson. Rond 1875 koos deze commissie voor een systeem op basis van het elektromagnetische (e.m.) stelsel, omdat daarbij de gemakkelijkst te gebruiken meetapparatuur hoorde. Men stelde voor:

1 ampère (A) = $0,1 \times$ de e.m.-eenheid van stroomsterkte, 1 volt (V) = $10^8 \times$ de e.m.-eenheid van spanning, 1 ohm (Ω) = $10^9 \times$ de e.m.-eenheid van weerstand.

Het is interessant te bedenken dat het gebruik van dit eenhedensysteem in wezen berust op krachtmetingen. Men heeft gedurende de gehele negentiende eeuw gemeend (maar naar later bleek ten onrechte), dat zowel elektrische en magnetische grootheden konden worden teruggebracht tot mechanische. Het zou nog tot ver in deze eeuw duren, eer men inzag dat de ampère een grondeenheid is.

Het gebruik van de A, V en Ω breidde zich zo snel uit, dat vanaf 1881, het jaar van het internationale elektrotechnische congres in Parijs, het gebruik van deze eenheden officieel werd voorgeschreven. Omdat het nog niet mo-

gelijk was, deze zo gedefinieerde eenheden met voldoende nauwkeurigheid te meten, werden tevens drie standaarden vastgesteld. Eén ampère is de sterkte van de stroom die in de zilvervoltameter een neerslag van 1,118 milligram zilver per seconde veroorzaakt. Eén ohm is de weerstand van een kwikkolom van 106,3 centimeter lengte en één vierkante millimeter doorsnede bij 0°C . De elektromotorische kracht (E.M.K.) van een Weston normaalelement bij $20,0^\circ\text{C}$ stelde men vervolgens gelijk aan 1,0183 volt.

Toen later de meettechniek zo was verbeterd dat de oude definities niet meer voldeden, heeft men de wijzigingen toch steeds zo gekozen, dat de veranderde definities zo goed mogelijk aansloten bij de inmiddels ingeburgerde waarden. Voor de gemiddelde gebruikers hadden deze wijzigingen geen praktische betekenis.

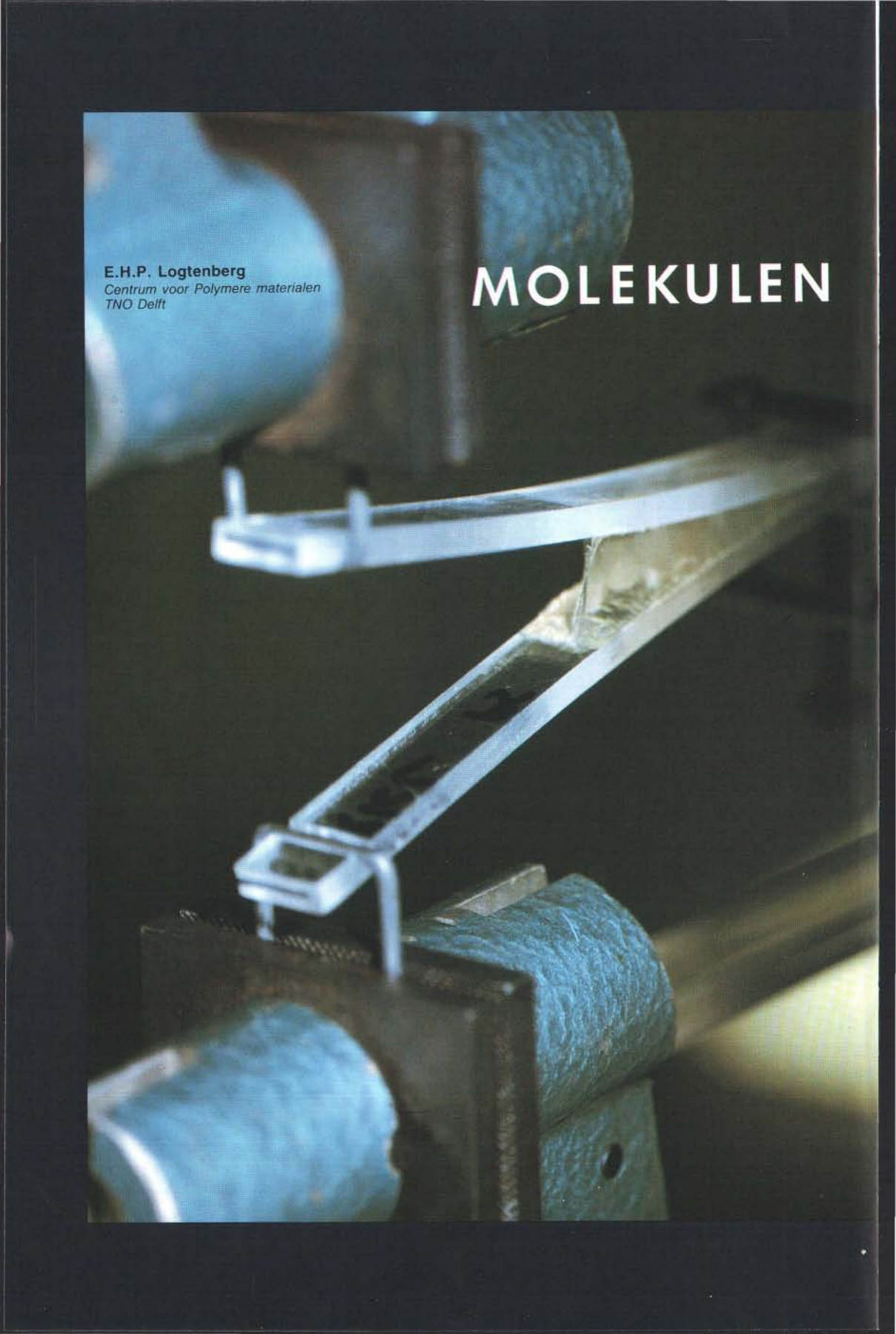
Nog juist voor het begin van de twintigste eeuw was in aanleg de situatie ontstaan die we nu nog kennen: opwekking van elektriciteit in centrales, transport via hoogspanningsleidingen en, dankzij de bijdrage van vele onderzoekers in de negentiende eeuw, beschikbaarheid van betrouwbare meetinstrumenten en eenheden.

Literatuur

1. Wiedemann G. Die Lehre von den Wirkungen des galvanischen Stromes in die Ferne. Braunschweig, F. Vieweg und Sohn, 1862.
2. Thomson W. Reprint of papers on electrostatics and magnetism. Londen: Macmillan & Co, 1884. Beide boeken zijn aanwezig in het Instituut voor de Geschiedenis der Natuurwetenschappen, Utrecht.
3. Segrè E. From falling bodies to radio waves. New York, WH Freeman & Co, 1984.

Bronvermelding illustraties

Uit: Albrecht G. Geschichte der Elektrizität. Wene. Pest. Leipzig, 1885: pag. 552-553 (portretten).
 Uit: Bosscha J. Leerboek der Natuurkunde. A.W. Sijthoff, Leiden, 1903: 13.
 Boeken uit bibl. Inst. voor Geschiedenis der Natuurwetenschappen, Utrecht.
 Universiteitsmuseum Utrecht, Foto Jac. P. Stolp: pag. 552-552 (foto), 7, 1-3.
 Uit: Wiedemann G. Die Lehre von den Wirkungen des galvanischen Stromes in die Ferne: 1, 2, 4, 8, 10, 13.
 Uit: Thomson W. Reprint of papers on electrostatics and magnetism: 14.
 Siemens Nederland N.V., Den Haag: I-1.
 Schoolcollectie, RSG Thorbecke te Amersfoort: 5, 15.
 De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.



E.H.P. Logtenberg
Centrum voor Polymere materialen
TNO Delft

MOLEKULEN

LIJMEN

MET EEN HECHTE BAND

Lijmen is een moderne verbindings-techniek, onder andere in micro-elektronica en ruimtevaart, die haar wortels heeft in de prehistorische pottenbakkerij. Vanaf 2000 voor Christus is het gebruik van teer bekend voor het afdichten van schepen, waarbij de teer ook voor een zekere stevigheid zorgde. De oude Egyptenaren gebruikten lijm voor het fineren van panelen. Zij kenden het sap van acacia's als lijm, de tegenwoordige arabische gom. Halverwege de vorige eeuw verschenen achtereenvolgens rubberachtige en fenol-achtige lijmen op de markt. De opkomst van de moderne lijmen, zoals polyester, epoxy's en acrylaten, begint rond 1930. Vanaf de jaren zestig heeft het lijmen voor hoogwaardige toepassingen een hoge vlucht genomen.

Weldra zullen de verlijmdes perspexstroken in deze testopstelling, uit elkaar getrokken zijn. Bij de beproeving van lijmen hoort altijd een dergelijk experiment. Het geeft inzicht in de sterkte van de lijmverbinding als geheel.

Met de komst van de nieuwe generaties lijmen en vanwege de eisen die talrijke nieuwe constructiematerialen aan bevestigingsmethoden stellen, neemt de toepassing van lijm vandaag de dag exponentieel toe. De toepassing van de huidige lijmen varieert van consumentenartikelen, de verpakkingindustrie, de bouw en de micro-elektronica tot de automobiellindustrie, de vliegtuigbouw en zelfs de ruimtevaart.

Goede hechting is voor de meeste lijmtoeepassingen een vereiste, maar soms moet de hechting weer gemakkelijk te verbreken zijn. Denk bijvoorbeeld aan het vervangen van een ingelijmd autoruit of het verwijderen van etiketten op glaswerk dat gerecycled wordt. De topfolie van een magnetronverpakking moet goed vastzitten om bij het opwarmen de toenemende druk te weerstaan, maar de consument zit met het probleem dat die folie alleen met kunst- en vliegwerk te verwijderen is. De eerste luiers met kleefstrip gaven ook een dergelijk probleem. Zat de kleefstrip eenmaal op zijn plaats dan konden de luiers alleen nog verwijderd worden door hem uit elkaar te scheuren. Nu is er een kleefstrip ontwikkeld die door afstemming van lijm en ondergrond een goede hechting geeft, maar gerust een aantal keren los- en weer vastge maakt kan worden.

De werking van lijm

De sterkte van een lijmverbinding is afhankelijk van de hechting van de lijm aan de ondergrond, de adhesie, en van de sterkte van de lijmlaag zelf, die het gevolg is van cohesiekrachten. Ter verklaring van de hechting onderscheidt men *mechanische verankering* en *specifieke hechting*. Bij mechanische verankering dringt de lijm door in de allerfijnste oneffenheden van de ondergrond. Als de lijm hard wordt ontstaat eenzelfde verbinding als bij in elkaar geklikte drukknoppen. Deze verklaring kan gelden voor de hechting aan stoffen als hout, papier, textiel en leer. Maar ook glas, metalen en kunststoffen worden gelijmd. Mechanische verankering kan geen verklaring bieden voor de hechting aan de gladde oppervlakken van deze materialen. Deze zogenaamde specifieke hechting berust op een chemische of fysische interactie tussen lijm- en materiaal-molekulen.

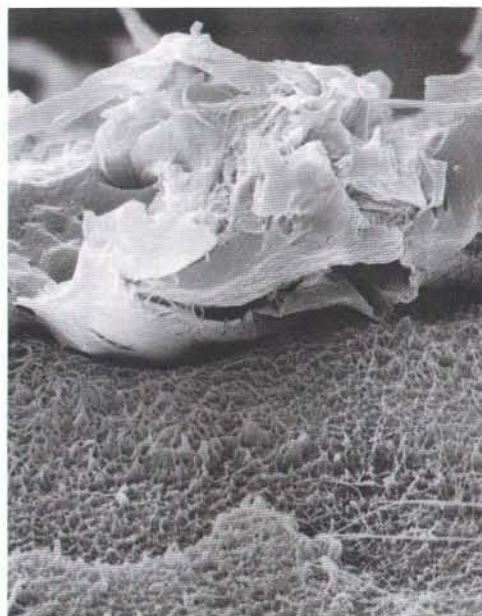
Een daadwerkelijk chemische reactie tussen lijm en ondergrond treedt bijvoorbeeld op bij silanen, die gebruikt worden als hechtverbeteraar in verven en lijmen voor bijvoorbeeld glas. Voor een goede hechting is ook de affiniteit belangrijk tussen de molekulen van de lijm en die van de ondergrond. De basis van die affiniteit vormen polaire en/of apolaire bindingen, die kunnen berusten op Van-der-Waalskrachten of waterstofbruggen. De verlijming van kunststoffen is veelal op diffusie gebaseerd. Zo lossen de meeste PVC-lijmen het oppervlak van de beide te lijmen delen op. Als het oplosmiddel verdampt vloeien beide oppervlakken ineens. Ook als de lijm zelf in het oppervlak diffundeert kan zo'n diffusiebinding optreden.

Voor een optimale hechtcracht moet de lijm goed over het hele oppervlak vloeien en tot in de kleinste oneffenheden doordringen. Voor een goede bevochtiging zijn zowel een grote affiniteit tussen lijm en ondergrond als een geringe viscositeit van de lijm van belang. Slechte hechting wordt vaak veroorzaakt door verontreinigingen op het oppervlak. Verontreinigingen – vet, stof en vocht – verhinderen het directe contact tussen lijm en lijmvlak. Ook kan de oppervlaktelaag van een kunststof inherent zwak zijn. De lijm hecht dan wel goed, maar het oppervlak laat los van het onderliggende materiaal. Deze verschijnselen worden

vaak samengevat onder de noemer 'zwakke grenslaag'.

Behalve een goede hechting aan een oppervlak moet een lijm natuurlijk ook een grote eigen sterkte hebben. De eigen sterkte van de lijmlaag wordt bepaald door de grootte van de polymeermolekulen, hun vorm en hun onderlinge wisselwerking. Wat de vorm betreft speelt het een rol of de molekulen lineair of vertakt zijn en of het polymeer kristallijn of amorf is. Voor een hoge eindsterkte van de verbinding zijn lange polymeerketens of een sterke verknoping gunstig. De lijm moet bij het opbrengen een geringe viscositeit hebben, want dat bevordert de vloeit over het oppervlak en daardoor de hechting. Tijdens het uitharden moet de lijmlaag een grote eigen sterkte krijgen. Voorwaarde daarvoor is dat de viscositeit toeneemt en de lijm in de vaste toestand overgaat.

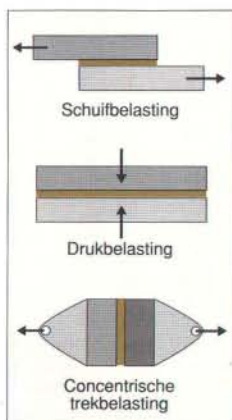
Een voorbeeld van een stof met een goede hechting en een lage eigen sterkte is water. Water hecht zich goed aan tal van oppervlakken maar de krachten tussen de watermolekulen zijn zo klein dat de molekulen gemakkelijk een voor een van elkaar los te trekken zijn. Polymeren hebben een dergelijke bewegingsvrijheid niet. De lage viscositeit die tijdens het op-



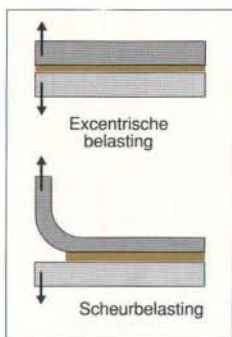
1. Bij lijmen komt een verbinding tot stand dankzij de hechting van de lijm aan de materiaaloppervlakken. Deze foto van een breukvlak van gelijmd kunststof laat zien dat het oppervlak sterk vervormd is door de losgescheurde lijm, waarvan nog een 'prop' te zien is.

2. Voorwaarde voor een goede lijmverbinding is niet alleen de juiste lijmsoort, maar ook de juiste constructie. De kracht moet over een zo groot mogelijk oppervlak verdeeld worden, zodat die 'alle' polymeerketens in de lijmlaag belast (2a). Bij een verkeerde belasting (2b) zal de lijmlaag het begeven.

3. Een goede lijmverbinding is vaak sterker dan het verlijmd materiaal. Deze met epoxyhars verlijmd aluminium strippen werden aan een trekproef onderworpen. De strip brak, de verbinding bleef heel.



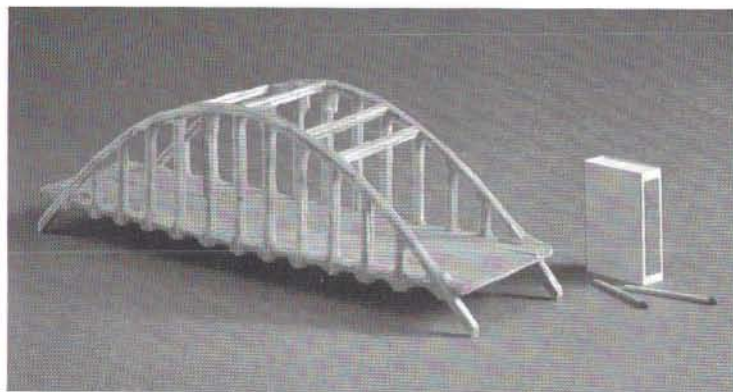
2a



2b



3



4

brenge van de lijm vereist is, kan bij het toepassen van polymeren op uiteenlopende manieren worden verkregen. Men kan vaste polymeren gebruiken die bij verwarmen dunvloeibaar worden en bij afkoelen weer vast, of men kan polymeren in een oplosmiddel brengen dat tijdens het uitharden van de lijm verdampt. In deze gevallen gebeurt de overgang van de vloeibare in de vaste toestand, het verharding van de lijm, op fysische wijze. Chemisch verhardende lijmen bevatten molekulen die tijdens het uitharden met elkaar reageren tot polymeren.

Is de verbinding eenmaal een feit, dan liggen er tal van gevaren op de loer die haar duurzaamheid bedreigen. Water kan lijm van een oppervlak verdringen. Ook kan de grenslaag of de lijm worden afgebroken. Zo kan een metaaloppervlak corroderen, of kan lijm hydrolytisch worden afgebroken of door hoge temperaturen of micro-organismen worden aangetaast. Weekmakers in kunststoffen kunnen zich naar het oppervlak verplaatsen en de hechting tussen de lijm en het materiaal verzwakken. Verder kunnen door langdurige belasting de polymeermolekulen van de lijm zich gaan verplaatsen. Door deze kruip gaat de binding geleidelijk verloren.

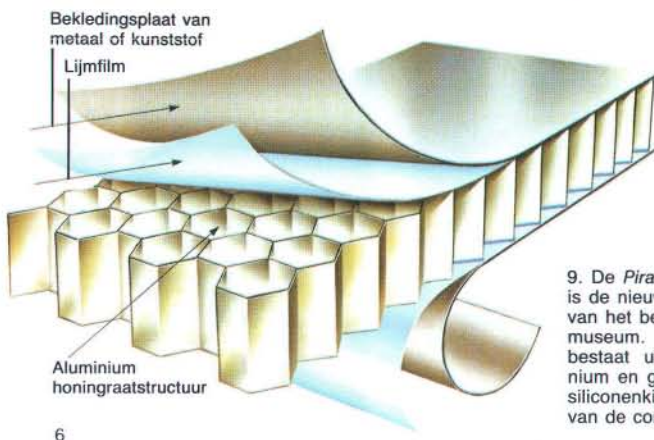


5

4 en 5. 120 Gram weegt deze brug van verlijmd lucifers. Ze is zo sterk, dat ze met gemak haar 62 kilogram zware bouwman kan dragen.

Soorten lijmen

Lijmen kunnen ingedeeld worden op grond van het mechanisme dat schuilt achter het verhardingsproces. Fysisch verhardende lijmen bevatten de polymeren al in hun definitieve vorm, terwijl chemisch verhardende lijmen polymeriseren tijdens het verharden.



6

6 en 7. Lijm is vaak een wezenlijk onderdeel van moderne materialen. Een voorbeeld daarvan vormen de zeer lichte en stijve panelen die opgebouwd zijn rond een aluminium honingraatstructuur. Het principe komt uit de vliegtuigindustrie, maar vindt ook in de bouw veel toepassing.



9

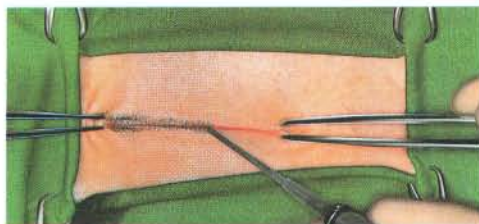
9. De Piramide du Louvre is de nieuwe hoofdingang van het beroemde Parijse museum. Het bouwwerk bestaat uit staal, aluminium en glas, dat dankzij siliconenkit deel uitmaakt van de constructie.

Zelfklevende lijmen, die toegepast worden in pleisters en plakband, zijn taaivloeibaar en verharden niet echt. Ze bestaan uit relatief kleine, bewegelijke polymeren. De eigen sterkte van de lijm neemt na het aanbrengen niet meer toe. Dispersielijmen zijn als het ware 'oplossingen' van polymeren. Bij het verharden verdampst het oplosmiddel en vloeien de polymeermolekulen ineen. De bekende witte houtlijm is een dispersie van polyvinylacetaat in water. Op een enigszins vergelijkbare wijze werken contactlijmen en opgeloste lijmen. De overgang van een lage naar een hoge viscositeit kan, behalve door het verdampen van het oplosmiddel, ook door temperatuurdaling bereikt worden. Smeltlijmen hebben bij lage temperatuur een hoge viscositeit. Vóór het aanbrengen moeten ze worden verwarmd waardoor de beweeglijkheid van de molekulen toeneemt en de lijm uit kan vloeien. Bij afkoeling krijgt de lijm zijn eigen sterkte weer terug. Dan zijn er nog de oplosmiddellijmen die bijvoorbeeld toegepast worden voor het lijmen van PVC.

Bij chemisch verhardende lijmen komt de sterkte tot stand door de vorming van polymeren. Deze lijmen, vooral die met onderling ver-



7



8

8. Doe-het-zelfers weten hoe snel en goed cyanoacrylatlijm plakt, ook aan je vingers. Artsen maken van die lijmeigenschap gebruik om snijwonden te

dichten. Een vlotte heiling met een minimaal litteken is het resultaat. De lijm is blauw, zodat de arts kan zien hoeveel hij opbrengt.



knoopte polymeerketens, zijn over het algemeen zeer sterk en bestand tegen chemische inwerking. Een voorbeeld van een chemisch verhardende lijm is tweecomponentenlijm. De lijm bestaat uit een epoxyhars en een aparte harder, die voor gebruik met elkaar moeten worden vermengd. De harder bevat meestal amine of zuur-anhydride. Tijdens het verhar-den vormen de componenten polymeren.

Toepassingen

Op dit moment is de automobiellindustrie een van de aantrekkelijkste markten voor lijmfabrikanten. De gangbare wijze van bevestigen van plaatstaal is het puntlassen. Bij het puntlassen worden de ruimten tussen de lassen niet gevuld. Deze ruimten zijn gevoelig voor indringend vocht en dus voor corrosie. Ook de puntlas zelf kan ten prooi vallen aan corrosie. Door toepassing van lijmen wordt het aantal puntlassen sterk verminderd en dit verhoogt de produktie-efficiency. De lijm tussen de platen verhindert het indringen van vocht en geeft zo bescherming tegen corrosie en bovendien een verbeterde afscherming tegen mechanische

trillingen en geluidstrillingen. Een probleem is dat de auto-industrie gebruik maakt van metaal dat is voorzien van een zogenaamde wals-emulsie die het metaal tijdens de opslag moet beschermen tegen roest. Deze emulsie is vetachtig en veel lijmen hechten daar niet op. Verder zijn de hoge temperaturen bij het lassen en het navolgende lakproces voor veel gangbare lijmen nog te veel van het goede. Het inlijmen van autoruiten is al tamelijk gangbaar geworden. Door dit inlijmen wordt de ruit zelf een deel van de dragende constructie. Een nadeel is dat het inzetten van een nieuwe autoruit minder eenvoudig is geworden. Ook reparaties van auto-plaatmateriaal worden tegenwoordig al uitgevoerd door lijmen in plaats van lassen.

In de bouw vinden we voorbeelden te over van lijmtoeepassingen. Bekend is het gebruik van gelijmde spanten, waarvan mooie voorbeelden te zien zijn in de diverse subtropische zwemparadijzen. Sterk in opkomst is het structureel beglazen, waarbij het glas niet door glaslatten op zijn plaats wordt gehouden maar door lijm in de constructie wordt verankerd. Een bijzonder fraai voorbeeld hiervan is de oegenschijnlijk geheel glazen piramide bij het

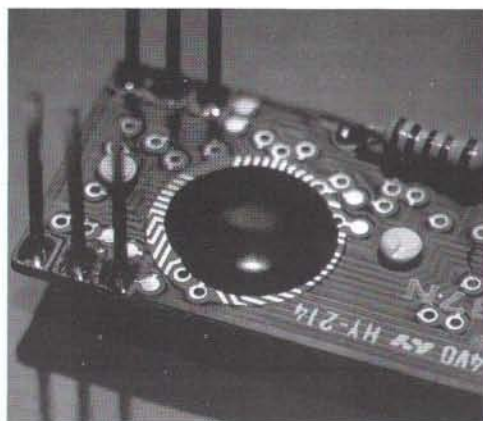
Louvre, die behalve uit glas is opgetrokken uit staal en aluminium. Hier is een siliconenlijm gebruikt.

Een heel ander gebied van lijmtoeepassing is de micro-elektronica. Vanwege de uiterst geringe afmetingen van de te verbinden onderdelen biedt lijmen hier een uitkomst. De eisen zijn vooral gericht op maatsnauwkeurigheid en stabiliteit. De lijm moet heel precies aan te brengen zijn, mag weinig of geen krimp vertonen en moet gedurende de hele levensduur van het produkt stabiel blijven.

Zeer spectaculair is de toepassing van lijm in de vliegtuigbouw. Het alom bekende succes van de Fokker F50 en F100 is mede te danken aan de toepassing van de lijmtchniek in deze vliegtuigen. Fokker heeft al tientallen jaren goede ervaringen met het lijmen van vliegtuigonderdelen. De F27 en de F28 waren de eerste in serie gebouwde vliegtuigen die werden voorzien van gelijmde aluminium vleugeldelen. De



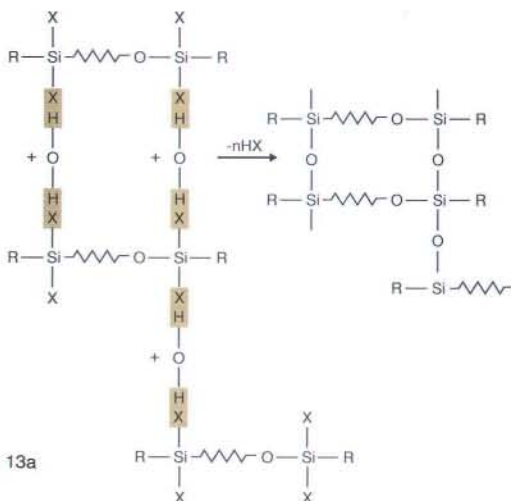
11



10

aanleiding om eind jaren vijftig op lijmen over te gaan was dat er weinig andere mogelijkheden waren om aluminium duurzaam en toch licht te verbinden. Gaandeweg bleek lijmen nog meer voordelen te hebben, zoals een beter vermoeingsgedrag en gewichtsbesparing ten opzichte van klinken.

Ook bij de nieuwe composietmaterialen spelen hechtings- en verbindingsproblemen, zowel met betrekking tot de hechting van de vezels in de hars van het composiet, als met betrekking



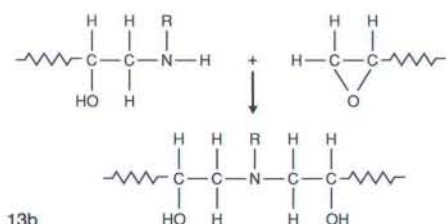
10. In de micro-elektronica vinden lijmen ruimschoots toepassing. Deze 'chip' heeft geen eigen behuizing, maar is door een druppel kunsthars stevig met de print verbonden.

13. Siliconenlijm (a) reageert met water uit de omgeving onder afsplitsing van een zuur, bijvoorbeeld azijnzuur. Bij tweecomponenten epoxylijm (b) vormt de harscomponent (rechts) een polymeer met de hardcomponent die aminogroepen bevat. Een cyanoacrylatlijm (c) hardt razendsnel uit door een radicaalreactie, die gestart wordt door vocht en een wat basisch milieu.

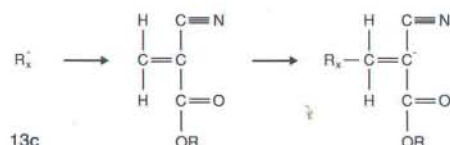


12

11 en 12. Blikschade aan auto's kan met lijmen veel goedkoper verholpen worden dan met gebruik van lastechnieken, want de binnenbekleding en bedrading kunnen blijven zitten.



13b



13c

tot het verbinden van deze composieten met andere materialen. Bij dit laatste komt juist de lijimtechniek als sterke kandidaat naar voren. Als laatste illustratie: samen met een aantal buitenlandse partners heeft TNO een aanvraag ingediend bij de EEG, om mee te werken aan het verbeteren van de toepassingsmogelijkheden van speciale lijmen met een hoge temperatuurbestendigheid ten bate van vliegtuigbouw en ruimtevaart.

Bij bovengenoemde voorbeelden spelen vooral

eindprodukteisen en verwerkbaarheid een rol. In toenemende mate krijgen echter ook de milieu-aspecten van lijmen aandacht. Zo hebben bijvoorbeeld de oplosmiddeldampen uit contactlijmen voor het leggen van tapijten nogal wat publiciteit gehad. Maar ook sectoren als de plaatverwerkende industrie, de meubelindustrie, de verpakkingindustrie en de doe-het-zelf-sector hebben hiermee te maken. Lijmen bevatten vaak organische oplosmiddelen of componenten die een zorgvuldige omgang met niet-uitgeharde lijm vereisen. Alternatieven worden gezocht in de smeltlijmen, in het vervangen van oplosmiddelen en in het aanpassen van lijmcomponenten. Ook produktietechnisch, bij de wijze van aanbrengen en uitharden, worden verbeteringen ingevoerd. Een apart, zij het vooralsnog niet groot, probleem is dat van de uitgeharde lijm als afvalstof. Een voorbeeld zijn de lijmresten in oud papier. Het betreft hier storende residuen van gelijmde van boekruggen, etiketten, tapes, kartonnen dozen enzovoort. Deze lijmresten kunnen bij de herverwerking van oud papier problemen opleveren, doordat zij zich aan de apparatuur hechten of de papierkwaliteit nadelig beïnvloeden.

In de nabije toekomst zijn vooral ontwikkelingen te verwachten op het gebied van de duurzaamheid, het verwerkingsgemak en de milieu-eisen van hechtmiddelen. In vergelijking met de ons omringende landen heeft Nederland een duidelijke achterstand in onderzoeks- en onderwijsplanning op dit terrein. De activiteiten en plannen van onderzoeksinstituten, onderwijsinstellingen en de ministeries van Economische Zaken en van Onderwijs en Wetenschappen wijzen er op dat hier spoedig verandering in zal komen.

Bronvermelding illustraties

Ciba-Geigy BV, Arnhem: 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11 en 12

B. Braun Medical BV, Uden: 8

©Clichés Musées Nationaux, Musée du Louvre, Parijs: 9

De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.



Begrazing

VAN STAL GEHAALD VOOR NATUURBEHEER

Binnenkort dreigt de veehouderij in Noordwest-Europa zo intensief te worden dat het vee permanent in ligboxen wordt opgesloten. Het voer wordt dan naar het dier gebracht in plaats van andersom. Het al eeuwenlang zo vertrouwde beeld van koeien in een weiland zal verdwijnen; zoals het beeld van de schaapherder en zijn kudde op de heide en de stoppelakkers al tot het verleden behoort. Sinds kort hebben natuurbeschermende instanties beweiding heronderkt en passen zij het steeds meer toe, zij het op een extensieve wijze. Het blijkt een uitstekende manier om soortenrijke graslanden in hun oude glorie te herstellen of nieuwe variatie aan te brengen in monotone landschappen.



In het natuurgebied
de Oostvaarders-
plassen doen
koniks, wilde Poolse
paardjes, dienst als
natuurbeheerder. Ze
eten veel riet, waar-
door ook andere
grassen, kruiden en
houtige gewassen
een kans krijgen.

Henk Hillegers
Zussen

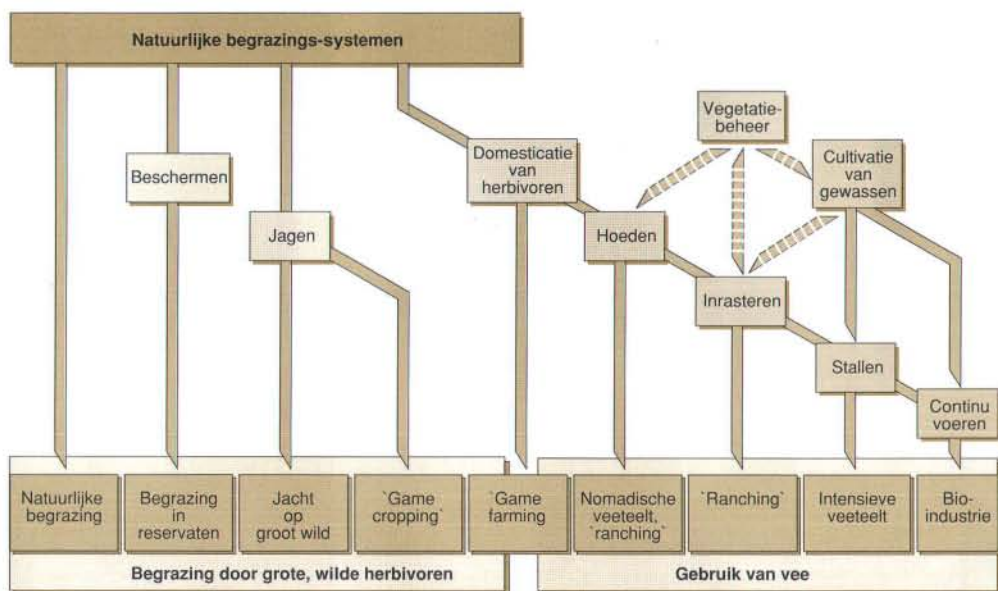
Voor de meesten onder ons is begrazing een vertrouwd fenomeen. Dat het beeld van koeien in een grasland, grazend of herkauwend, in de nabije toekomst zal verdwijnen zullen echter slechts weinigen zich realiseren, evenals het feit dat er nog vele andere vormen van begrazing bestaan. Op een denkbeeldige wereldreis, die we ook als een reis van de oertijd tot in het heden kunnen beschouwen, komen we al die vormen tegen. In afbeelding 1 zijn de diverse begrazingsvormen gerangschikt, van natuurlijk tot geheel door de mens gecontroleerd.

Op de Afrikaanse steppen, savannen en halfwoestijnen graasden nog niet zo lang geleden ontelbare kudden grote wilde planteneters. Voor zover niet uitgeroeid door jacht en stroperij, of weggeconcentreerd door gedomesticeerde runderen, zijn deze grazers ondergebracht in reservaten, waarin soms de begrazingsdruk zo hoog opliep dat afschot, *game cropping*, noodzakelijk bleek. Het opsluiten van grote planteneters in omheinde gebieden, *game farming*, is slechts een stapje verder. In Nieuw Zeeland bijvoorbeeld worden op grote schaal uit Europa afkomstige edelherten gekweekt, die de plaats ingenomen hebben van de onrendabel geworden schapen. Game farming zal in de toekomst steeds meer in betekenis toenemen.

Bij *nomadische veeteelt* moeten we denken aan de wijze waarop de Lappen uit noordelijk Scandinavië halfwilde rendieren teelden. Hun leven werd bepaald door de jaarlijkse migraties van de kudden. De overige begrazingsvormen kunnen we dichterbij huis waarnemen. De schaapherder met zijn kudde op de heide maakt een dagelijkse migratie mee. Bij *ranching* is de herder overbodig geworden. De koeien in een modern, dus overbemest en met onkruidbestrijdingsmiddelen bewerkt grasland zullen binnenkort verdwijnen. De intensieve rundveehouderij van nu zal plaatsmaken voor een bio-industriesysteem met ligboxen, waarin de koeien maïs en gras van enorme akkers te eten krijgen. In de varkensmesterij is het al zover.

Grazers en grazers

Herbivorie, de wetenschappelijke benaming voor het eten van planten of delen daarvan, is niet hetzelfde als begrazing. Begrazing veronderstelt een grote planteneter, dus geen insect maar een dier minstens zo groot als een konijn. Daarbij moet het voedsel voornamelijk uit grassen en kruiden bestaan. Het loof van bomen en struiken wordt immers niet begraasd maar geplukt. Dit betekent echter niet dat grote



herbivoren geen invloed uitoefenen op boom- of struikgroei, zoals we later zullen zien.

Onder de zoogdieren zijn de herkauwers de grazers bij uitstek. Ze bezitten, in tegenstelling tot andere zoogdieren die voornamelijk grassen eten, zoals paarden, konijnen en kangeroe's, een ingewikkeld spijsverteringsstelsel met vier 'magen' en kauwen hun voedsel twee keer. Dat doen ze vanwege de celwanden van het gras dat ze voor hun kiezen krijgen.

Een plantecelwand bestaat in volgroeiende toestand grotendeels uit cellulose. Dat is voor hogere organismen niet verteerbaar, omdat eenvoudig ze geen cellulose-splitsende enzy-

men kunnen maken. Bovendien omsluit de cel-
lulosewand de hele celinhoud, die overigens wel verteerbaar is. Planteneters staan daarom voor een keuze. Ze moeten of plantaardig weefsel met zachte celwanden en een voedzame celinhoud te pakken zien te krijgen – een combinatie die alleen in knoppen, groeipunten, bloemen en in sappige vruchten te vinden is – of ze moeten genoeg nemen met volwassen cellen met een relatief weinig voedzame inhoud en een harde celwand. Die moeten ze dan wel eerst mechanisch of chemisch kapot zien te krijgen, om de verteerbare inhoud te kunnen bemachtigen. Ze moeten ook nog heel



2

1. Een aantal vormen van begrazing en de mate waarin de mens die benut. Van links naar rechts neemt de natuurlijke graad af. De intensiefste vorm van het domestica-tieproces is bio-industrie.

2. De zogenaamde Heckrunderen, die sterk lijken op de inmiddels uitgestorven oeros, zijn in diverse Europese natuurgebieden uitgezet om de daar aanwezige natuurwaarden te verhogen.

3. Een schaapsherder trekt met zijn kudde door een Noordspaanse landschap. Op de vlakke, bezaaid met graan, vindt na de oogst stoppelbeweiding plaats. De steile, voor landbouw ongeschikte hellingen worden in de voor- zomer beweide. Overbeweiding kan hier bodemerosie veroorzaken, onderbeweiding daarentegen opslag van onder andere harsige en doornige struiken die in het droge seizoen gemakkelijk vlam vatten.



3

veel van dat voedsel eten om voldoende voedingsstoffen op te nemen.

Als grazers er in zouden slagen cellulose te verteren, boeken ze een dubbele winst. Ze kunnen dan met de energie uit celwand en celinhoud in hun levensonderhoud voorzien. Alle herkauwers, met name runderen, schapen en geiten, hebben de mogelijkheid om het maximaal rendement te halen uit volgroeid plantaardig weefsel. Op de eerste plaats kauwen zij twee keer dezelfde hap en vermalen zo hun voedsel extra fijn. Vervolgens wordt de 'tweede hap' bewerkt door bacteriën die wel in het bezit zijn van cellulose-splitsende enzymen. Als het mechanisch en chemisch bewerkte gras in de buitengewoon lange darm terecht komt, kan die uiteindelijk heel veel voedzame bestanddelen van de plantecel opnemen en aan het bloed van de herbivoor afgeven.

Uit het bovenstaande volgt dat herkauwers echte bulk-etters moeten zijn. Zij zijn weliswaar in staat het maximale rendement uit hun



5



4

grasrijke menu te halen, maar moeten wel zeer veel voedsel naar binnen slaan — gras heeft nu eenmaal een lage voedingswaarde. Een gemis aan kwaliteit moeten ze door de hoeveelheid compenseren en dat betekent voortdurend eten en kauwen.

Ondanks hun 'gewone' spijsverteringsstelsel, hebben ook de niet-herkauwende grazers zich aangepast aan moeilijk verteerbaar plantaardig voedsel. Wilde konijnen leven, net als de herkauwers, voornamelijk van grassen en

kruiden, maar uit hun levenswijze en uit de bouw van hun spijsverteringskanaal blijkt dat ze er een iets andere voedingsstrategie op na houden. Zij eten vooral knoppen, jonge spruiten, vruchten en, in tegenstelling tot koeien, wortels en boombast. Toch moeten konijnen, vooral gedurende de winter, vaak genoeg nemen met voedsel van een lagere kwaliteit, dus met een hoger gehalte aan slecht verteerbare bestanddelen. In de loop van de evolutie hebben konijnen en andere *monogastrische*



4. Door hun grote aantal zijn gras- en rietetende ganzen net als grote herbivoren in staat tot het 'kort' houden van uitgestrekte vegetaties. De structuurverschillen in het plantendek die zo ontstaan bevorderen de diversiteit van levensvormen.

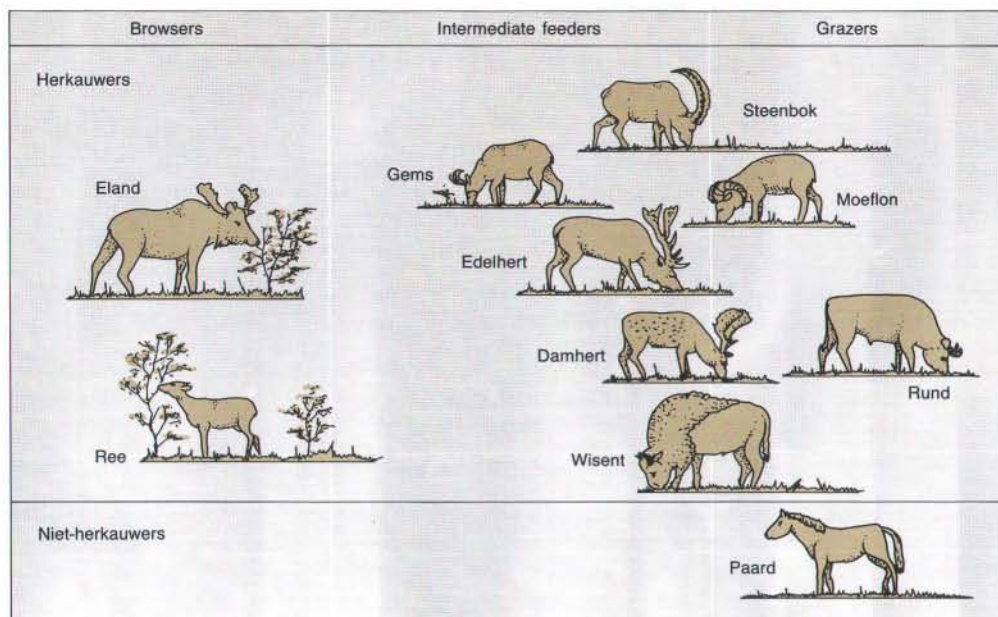
5. 'Schotse hooglanders' worden onder andere op de Veluwe ingezet. Natuurbeheerders waarderen hun soberheid ten aanzien van voedsel en hun gehardheid ten aanzien van het klimaat.

6. Het edelhert is een 'intermediate feeder': half grazer, half plukker. In de zomer voedt deze soort zich met grassen en kruiden en 's winters met knoppen en twijgjes van bomen en struiken.

herbivoren (dieren met één maag; dieren met meer magen heten *polygastrisch*) zich aangepast in lichaamsbouw en gedrag.

Bij konijnen is het de einddarm (en niet de pens aan het begin van de darm) waar de microbiële bewerking plaatsvindt; de blinde darm en de rest van de dikke darm zijn dan ook sterk vergroot. De door de microbiële activiteit vrijkomende voedingsbestanddelen (vooral lagere vetzuren) kunnen tot dertig procent van de energiebehoefte van een konijn dekken. Bovendien 'herkauwen' deze dieren ook. Konijnen eten namelijk hun keutels weer op, maar wel alleen hun uitwerpselen uit de eerste ronde. Op deze wijze komen de door microben vrijgemaakte voedingsstoffen (en waarschijnlijk ook de voedingsstoffen die in de nog levende of dode micro-organismen zitten) opnieuw in het darmkanaal. Die kunnen dan via de maag of de rest van het spijsverteringskanaal opgenomen worden. Konijnen zijn dus in staat om het beste voedsel uit te kie-





7

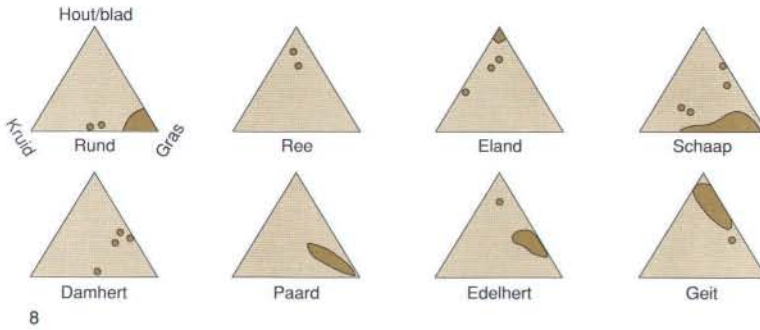
zen, maar kunnen, als ze met minder genoeg moeten nemen, ook overleven door het slechte voedsel beter te verteren.

Vogels zijn doorgaans 'slordige' verteersers. Hun darm is relatief kort en de mechanische verkleining van het voedsel in een kauwmaag met kleine steentjes is weinig efficiënt in vergelijking met de vermaling tussen de kiezen van grazers. Maar vogels kunnen zich dit permitteren: door hun grote actieradius en snelle verplaatsing kunnen zij het beste van het beste uitkiezen en voedsel van mindere kwaliteit eenvoudig aan anderen overlaten. Ook grasetende vogels zoals wilde ganzen laten dit principe zien. Zij voeden zich vooral met kiemend graan of jonge grasspruiten, waarvan het cellulosegehalte nog laag en het eiwitgehalte hoog is. Dit tot het verdriet van de boeren, die daar overigens een forse vergoeding van de overheid voor krijgen. Toch moeten ganzen relatief veel eten om voldoende energie te verkrijgen. Van al dat gras in hun maag worden ze nog zwaarder dan ze al zijn en als een vlucht ganzen vanuit een piepjonge graanakker op de wieden moet, laten ze hun hele maaltijd als ballast achter in de vorm van een langgerekt uitwerpsel. Het is beter een vlucht weidende ganzen maar niet op te schrikken...

Voedselkeuze

In het bovenstaande is uiteengezet dat kwaliteit en kwantiteit van het voedsel met elkaar in verband staan. Soorten met een voedselrijk dieet kunnen zich 'de luxe' permitteren weinig te eten en soorten die van voedselarme planten leven moeten daar grote hoeveelheden van nuttigen. In het model van afbeelding 7, is dit principe nader uitgewerkt voor een aantal grote zoogdiersoorten die in Noordwest-Europa in het wild voorkwamen en die nu in aanmerking komen om als grazer in natuurgebieden te worden ingezet. Rechts staan de *grazers* die zich voornamelijk met gras voeden, links in beeld staan de *browsers* (plukkers), zoals ree en eland, die selectief jonge twijgen, knoppen en bladeren consumeren. Daar tussenin staan de *intermediate feeders*, die voor een mengvorm kiezen. De gems bijvoorbeeld eet 's zomers jonge, voedzame grassen en kruiden op de hoge bergweiden, maar moet 's winters naar lagere regionen afdalen om knoppen en twijgen van bomen en struiken, die dan niet zo voedzaam zijn, te eten.

Uit dit model blijkt ook dat de grote grazers elkaar nauwelijks om voedsel beconcurreren. Paarden en runderen zijn niet eens concurren-



7 en 8. Drie voedselstrategieën (7) van grazers. 'Browsers' plukken voornamelijk van bomen en struiken, 'grazers' eten bij voorkeur grassen en kruiden en 'intermediate feeders' profiteren van beide voedselbronnen. De voedselkeuze (8) heeft betrekking op drie categorieën: bomen, kruiden en grassen. De meeste soorten beconcurreren elkaar niet.

ten. Met snijtanden in hun boven- en onderkaak zijn paarden in staat grassen tot aan de wortels af te bijten. Omdat aan de stengelbasis van grassen de voedzaamste bestanddelen van de grasplant zijn geconcentreerd, krijgt een paard per hap meer voedsel van betere kwaliteit binnen dan een rund. Dat mist namelijk snijtanden in de bovenkaak en moet het gras met behulp van tong en ondersnijtanden los trekken. Runderen eten aldus de hogere delen van de grasplant die minder voedzaam zijn.

De verschillende grazers bezitten allen een verschillende voedselstrategie. Dit betekent enerzijds dat zij bij een voldoende aanbod van voedsel geen concurrenten zijn en dat zij anderzijds in de gebieden waar zij samen voorkomen, een grote variatie aan plaatselijke milieuverschillen creëren. Deze variatie biedt aan allerlei plantensoorten een gunstige plek, waar-

door na verloop van tijd, een gevarieerd vegetatiedek ontstaat. Vooral dit gegeven is voor de 'natuurbegrazing' heel belangrijk.

Het slachtoffer

Tot nu toe kwamen de problemen aan de orde die een grazer ondervindt bij het eten van plant-aardig voedsel. We kunnen begrazing ook van-



9

9. De begraasde plantensoort is niet weerloos; stekels of brandharen geven een zekere bescherming tegen vraat door grote herbivoren.

10. Zonder begrazing zou dit vochtige laagveenlandschap snel dichtgroeien en veranderen in een monotoon pionierbos. Door begrazing ontstaat een blijvende variatie in de vegetatiestructuur en soortensamenstelling.



10

uit het 'slachtoffer' benaderen en ons afvragen over welke mechanismen planten beschikken om zich tegen vraat te beschermen. In de loop van de evolutie hebben soorten met een 'eten-en-gegeten-worden-relatie' zich steeds aan elkaar aangepast. Die co-evolutie heeft dus zowel de grazers, de begraasden en hun samenhang in een ecosysteem beïnvloed.

Verschillende plantesoorten hebben op zeer uiteenlopende wijzen vraatresistentie gerealiseerd. Globaal zijn er vier hoofdcategorieën te onderscheiden: een temporele, een ruimtelijke, een morfologische en een fysiologische. Vanzelfsprekend komen ook allerlei combinaties van aanpassingen voor.

Van *temporele* vraatresistentie maken soorten gebruik met een zeer korte bovengrondse levensfase, een eigenschap die meestal gepaard gaat met grote aantallen exemplaren van die ene soort. De kans dat alle exemplaren van de soort gegeten worden is onder deze omstandigheden bijzonder klein. Veel 'annuellen', soor-

ten die in het voorjaar kiemen, snel bloeien en zaad zetten om vervolgens als zaad te overwinteren, voldoen aan dit model, maar maken ook gebruik van de *ruimtelijke* strategie. Een soort die verspreid is over een groot oppervlak, maar slechts een gering deel van de gegeten biomassa uitmaakt, heeft slechts een kleine kans om geheel te worden geconsumeerd. Dergelijke soorten hoeven niet gelijktijdig te bloeien en kunnen meerjarig zijn.

Morfologische aanpassingen zoals stekels, doornen, brandharen, vilt of andere ongenaakbare structuren liggen het meest voor de hand om als vraatresistente aanpassingen herkend te worden. Cactus, brandnetel en jeneverbes zijn duidelijke voorbeelden. In deze categorie horen ook soorten die op een andere wijze hun vegetatieve delen 'onbereikbaar' maken voor grazers. Daartoe behoren de bomen die, eenmaal boven de twee meter uitgegroeid, voor de in onze streken voorkomende grazers veilig zijn. Ook de vlakke, plat op de



11

11. Door hun bijzondere groeiwijze (vanuit een groeizone aan de basis van de plant) zijn grassen uitermate bestand tegen begrazing van bovenaf.

12. Er zijn duidelijke verschillen wat betreft structuur en soortensamenstelling tussen soortenarme cultuurlandschappen en begraasde natuurlandschappen. Hier in beeld de rand van de Oostvaardersplassen. De variatie van patronen en structuren van de vegetatie in het natuurlandschap ontstaat voornamelijk door het reliëf en de specifieke voedselstrategie van de grazer.



12

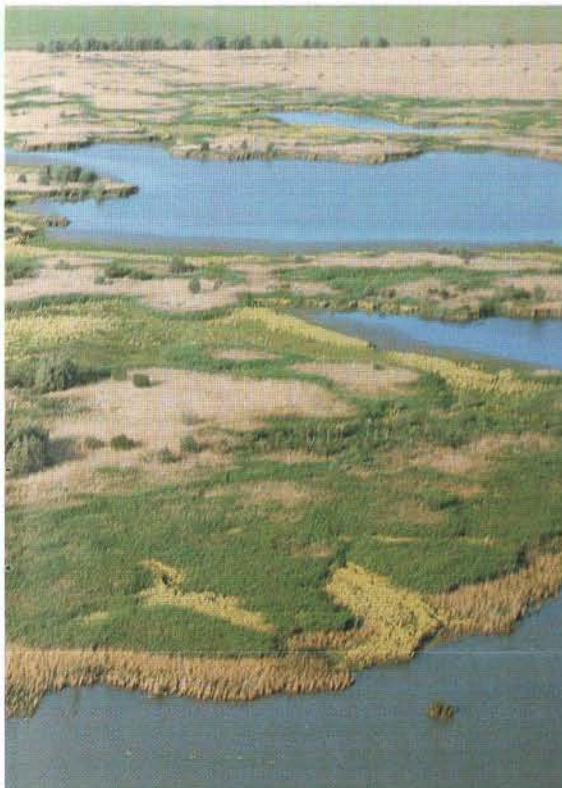


13



14

13 en 14. Ook kleine herbivoren van het formaat van een muis veroorzaken een differentiatie binnen een gesloten grasmat. Op de foto zijn looppaadjes, de ingang van een holletje en vraatplekken van de mini-grazer goed te zien.



grond liggende rozetten van kruiden zijn door de bekken van grote grazers niet opneembaar.

Een *fysiologische* vraatresistentie moet de grazer eerst ervaren voor die er bij een volgende ontmoeting met de plant rekening mee zal houden. Bij zeer giftige plantesoorten heeft de eerste maaltijd soms catastrofale gevolgen voor de grazer. Wat dat betreft heeft de taxus een slechte reputatie voor paarden en schapen. Meestal echter wordt de grazer van tevoren gewaarschuwd door een 'walgelijke' geur, zoals veel soorten uit de familie van de lipbloemen die produceren, of wordt de grazer door een bittere smaak of op een anderszins onaangename wijze herinnerd aan de oneetbaarheid van de plant. Tot de categorie planten met een fysiologische vraatresistentie behoren ook de grassen en de op grassen gelijkende planten zoals zeggen, die immers grote hoeveelheden onverteerbare of moeilijk verteerbare voedingsbestanddelen bezitten. Tevens zijn grassen tot op zekere hoogte beschermd voor vraat door hun bijzondere groeiwijze. Een grasblad groeit namelijk vanuit de bladschede, dus vanuit de basis van de plant, en wordt daardoor omhoog gedrukt alsof het uit een tube wordt geknepen. Bij het grazen beschadigt de planteneter het groeipunt dus niet.

Favoriete weideplaatsen

In de twee afbeeldingen bij dit intermezzo is aangegeven waar de favoriete weideplaatsen zijn gelegen voor gedomesticeerde herbivoren in een Zuidlimburgs beekdal uit de achttiende eeuw, waar een dorpsherder de dieren hoedde, en enkele grote herbivoren in het natuurgebied Oostvaardersplassen, die zelf hun weideplaatsen kunnen kiezen. Beide figuren gaan uit van een situatie gedurende het groeiseizoen.

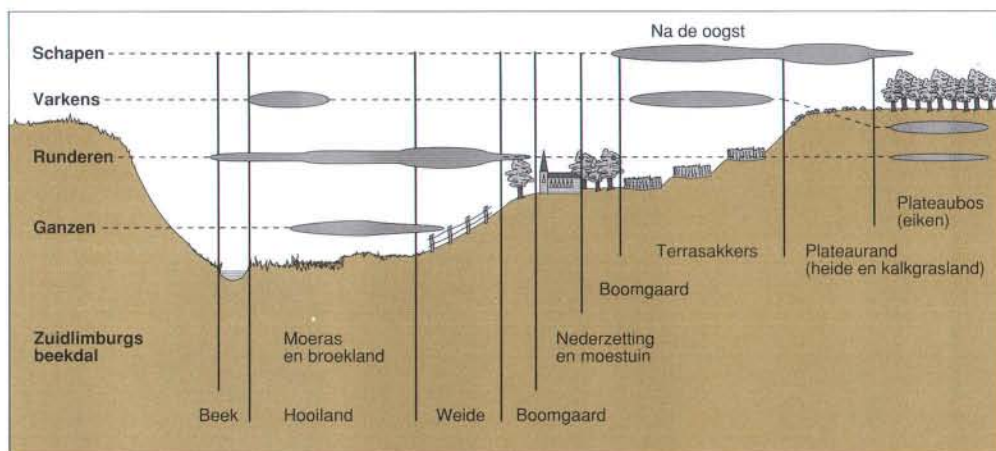
De overeenkomst van de favoriete weideplaatsen in beide gebieden is duidelijk, wat in verband staat met de voor elke herbivoor karakteristieke voedselstrategie.

Rundvee, hetzij gedomesticeerd, hetzij 'verwilderd' zoals het in de Oostvaardersplassen uitgezette Heck-rund, begraast voornamelijk vegetaties met

een grof-grazige structuur. Runderen zijn bulk-etters die dank zij hun gespecialiseerd maagdarmkanaal veel voedsel van een matige kwaliteit optimaal kunnen verteren.

Grauwe ganzen leven voornamelijk van jonge rietknoppen en jong, mals gras dat voor runderen onbereikbaar is. Ook profiteren zij van de hergroei die plaatsvindt wanneer het rundvee hun is voorgeeet. Naar dergelijke plekken dreven in Zuid-Limburg de legendarisch geworden ganzenhoedsters troepen gekortwiekte ganzen.

Wilde varkens zullen, als ze worden uitgezet in de Oostvaardersplassen, voornamelijk in de ondiepe moerassen te vinden zijn waar ze volop wortelstokken en andere zetmeelrijke organen van moerasplan-



I-1

Neveneffecten

Afgezien van het verwijderen van de vegetatie of delen daarvan, bewerkstelligen de grote herbivoren nog vele andere effecten. De belangrijkste zijn betreding en bemesting. Grote en zware dieren, vanaf het formaat van een schaap, veroorzaken ook in gebieden waar zij vrij kunnen lopen vaste paden en, afhankelijk van de soort, vaste rustplekken waar zij alleen al door hun gewicht de vegetatie beïnvloeden. De bodemverdichting die het gevolg is van de betreding verandert immers de vochtthuishou-

ding van de bodem. In combinatie met de regelmatige bemesting van de looppaadjes en rustplekken door de uitwerpselen van de dieren ontstaan daar nieuwe vegetatietypen en structuren.

In een paardenwei zijn de effecten van begrazing heel duidelijk te zien. Zo'n wei onderscheidt zich van een koeienwei door ruige plekken, afgewisseld met kortgegrasde delen. De met distels en brandnetels begroeide ruige plekken zijn latrineplaatsen; hier doen alle paarden hun behoefte en ze eten er niet. Koeien kennen geen vaste latrineplaatsen, maar

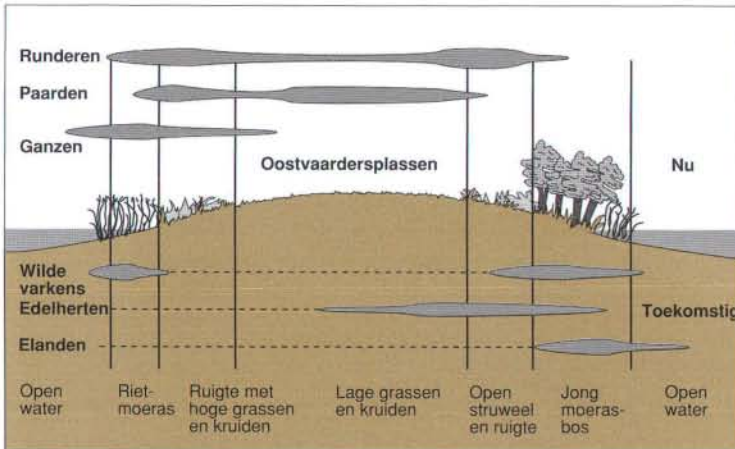
ten kunnen vinden. Hun gedomesticeerde soortgenoten troffen onder begeleiding van de varkenshooier op vergelijkbare plaatsen hun favoriete voedsel aan. Bossen met eiken en beuken, waarvan varkens de vruchten hogelijk waarderen, ontbreken vooralsnog in de Oostvaardersplassen. In Zuid-Limburg waren die wel op kleine schaal aanwezig.

Paarden begrazen vooral korte vegetaties. De in de Oostvaardersplassen uitgezette koniks bezoeken in de zomermaanden vooral de open en hooggelegen delen van het reservaat, een milieu dat verwant is aan dat van de Zuidrussische steppen. De Zuidlimburgse boeren hielden hun zware werkpaarden niet in kuddeverband. De dieren kregen krachtvoer, haver en klaver, dat op akkers werd verbouwd.

Schapenkudden, die in de Oostvaardersplassen ontbreken, begraasden de wegranden en de geogoste akkers, maar vooral de droge, schrale graslanden op de dalhellingen.

Twee nog niet genoemde grote herbivoren zullen in de toekomst misschien nog in de Oostvaardersplassen worden uitgezet: het edelhert en de eland. Hun voornaamste voedsel bestaat uit boomblad, zodat ze de grazers nauwelijks voor de voeten zullen lopen.

Beide gebieden laten zien dat de verschillende soorten grote herbivoren geen directe voedselconcurrenten van elkaar zijn. Elke soort heeft zijn favoriete weideplaats, die elkaar plaatselijk of tijdelijk kunnen overlappen.



I-1 en I-2. Door langdurig en constant beheer ontwikkelde zich in Zuid-Limburg een rijk patroon van levensgemeenschappen, waarvan de restanten nu als natuurgebied behouden blijven door het beheer van toen te continueren. In een jong gebied zoals de Oostvaardersplassen ontwikkelt zich pas na jaren een gedifferentieerd vegetatiepatroon. Het beheer van dergelijke gebieden is niet gericht op voormalig gebruik, maar op het scheppen van voorwaarden voor natuurontwikkeling. Beide beheersvormen hebben één doel: grote variatie met de nodige stabiliteit.

daar waar hun uitwerpselen terecht komen wordt gedurende een lange periode niet gegeven. Hier kunnen grassen en kruiden uitgroeien, bloeien en zaad zetten. Een door schapen beweid helling ziet er vanuit de verte uit als een door een netwerk van smalle padjes bedekt geheel. Na verloop van tijd ontstaan er in elk beweid gebied milieuverschillen op kleine schaal, waardoor er een rijk gevarieerd patroon ontstaat in zowel de structuur als de soortensamenstelling van de vegetatie.

Dat de grote herbivoren geen bomen kunnen 'begrazen', wil allerm minst zeggen dat ze geen

invloed uitoefenen op een bos. Integendeel. Door schorsvraat (vooral door paarden in de winter) kan een deel van een populatie of een hele leeftijdscategorie van een bepaalde boomsoort afsterven. Andere planten kunnen bezit nemen van de opengevallen plekken. De structuur van het bos wordt open gemaakt. Grazers voorkomen op toegankelijke plekken de verjonging van het bos, doordat ze de kiemplanten en jonge exemplaren van bomen opeten. Vanuit ondoordringbaar en begrazingsresistent struweel ontwikkelt zich op andere plekken een nieuwe generatie bomen.

Zo kan men zich voorstellen dat in de loop van tientallen jaren, bij een niet te hoge beweidingdruk, zelfs in nieuw ontstane natuurgebieden een gevarieerd patroon van vegetatietypen en -structuren ontstaat. De restauratie van kruidenrijke graslanden en van heiden, elk met hun eigen, karakteristieke dierenwereld, is op dezelfde wijze mogelijk. Zelfs de omvorming van door de bio-industrie tot monocultures gedegradeerde graslanden tot kruidenrijke vegetatietypen, kan onder bepaalde omstandigheden door extensieve beweiding gerealiseerd worden.

Natuurbegrazing

Alle vormen van begrazing in de periode van het 'Ancien Regime', zoals de onze streken binnenvallende Fransen de tijd voor hun revolutie plachtten te noemen, waren extensief. Noch de heidevelden, noch de 's winters overstroomde beekdalen of andere meentgronden (die tot de gemeente behoren) werden bemest of op een andere wijze op een hoger produktieniveau gebracht. De beweidingdruk was laag. De herders, gemeentelijke functionarissen bekend onder de namen heerd (koeherder), scheper (schaapherder) en sween (varkenshoeder), of het ganzenhoedstertje dreven dagelijks hun kudden vanuit het dorp naar de weidegronden. 's Avonds wist elk dier feilloos de eigen stal te vinden. Daar werd hun mest zuinig opgespaard. Die diende immers de kleine akkers vruchtbaar te houden. De veeteelt stond in dienst van de landbouw, die daarom gemengd werd genoemd. Elke gedomesticeerde soort had binnen de *gemeynte*, het grondgebied van de nederzetting, zijn eigen favoriete weidegronden (zie Intermezzo). Doordat deze produktiewijze continu en gedurende een zeer lange periode bleef bestaan, ontstonden zeer gevarieerde ecosystemen die in elke nederzettingvorm van het Ancien Regime voorkwamen.

Alleen in oude dorps- en gemeenteplattegronden van Noordwest-Europa en in de nog 'achtergebleven' delen van Zuid-Europa kunnen we nog iets van zowel de dagelijkse heerdgang als van het esdorpmodel tegenkomen (zie afb. 16 en 17). In de meeste delen van Europa, zeker in het vruchtbare en dichtbevolkte laagland, zijn landbouw en veeteelt nu ontkoppeld. Beide bedrijfstakken zijn inmiddels zo

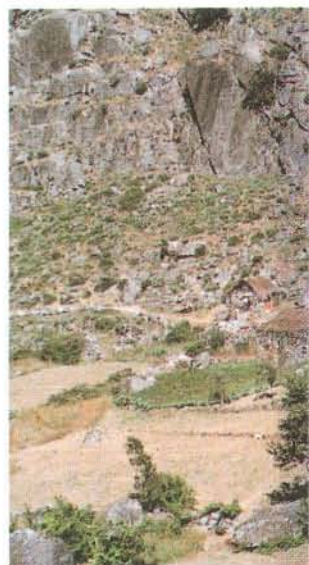
produktief dat er overschotten ontstaan en het agrarisch areaal ingekrompen moet worden. De meest marginale landbouwgebieden (gebieden met een erg laag produktieniveau, waaronder heidevelden, kalkgraslanden en veenmoerassen) of gebieden waar het boerenbedrijf niet kon of mocht doordringen (bijvoorbeeld duinen of drooggevallen inpolderingen zoals de Oostvaardersplassen) werden als eerste afgestoten en vervolgens tot natuurgebied verklaard.

Zowel in België als in Nederland passen de instanties die zijn belast met het beheer van na-



15

17. Alleen in de meest afgelegen delen van Europa – hier een naamloos gehucht in de Zezerevallei van het Portugese Estrela-gebergte – vinden we nog de oude agro-pastorale bedrijfsvoering rond een nederzetting die bij ons bekendstaat als het esdorpmodel. Karakteristiek is de ligging van de huizen aan de beek, de door het dorpsvee begraasde heide die de mest levert voor de kleinschalige akkertjes in het dal, en het bos hoog op de berghelling.



17

tuurterreinen, op tal van plaatsen opnieuw de traditionele beheersvormen toe. Schaapherders met hun aan de lokale situatie aangepaste schaperassen zijn onder andere weer terug weer terug op de Kalmthoutse Heide in de Kempen, op de Rhedense Heide op de Veluwe en op het Drentse Balloër Veld. Ook de kalkgraslanden van Zuid-Limburg worden weer door een lokaal voorkomend schaperas beweide. Runderrassen met een groot weerstandsvermogen, die probleemloos zelf hun kalveren ter wereld brengen en als ze jongen hebben niet elke dag gemolken hoeven te worden, worden

ingeschaard in reservaten waar deze vorm van beweiding al eeuwen geleden plaatsvond zoals in het Junner Koeland in Overijssel of op de Oosterkwelder van Schiermonnikoog.

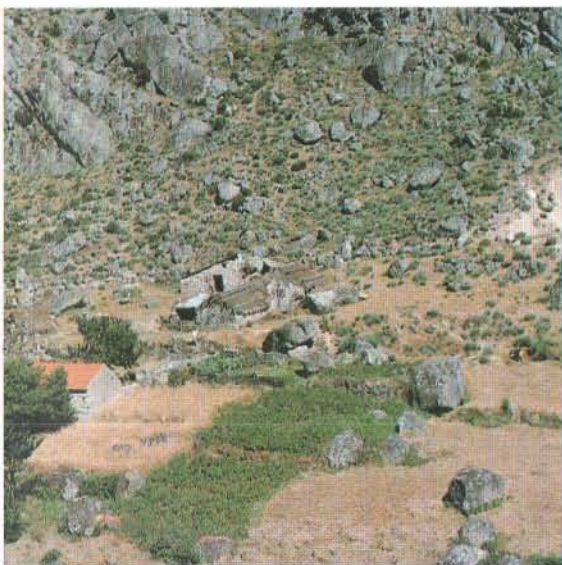
Voor andere natuurgebieden, waar nooit sprake was van een traditioneel beheer, zocht men naar andere oplossingen. Op de drooggevallen slikken en schorren van Flakkee en op de voor landbouw ongeschikte delen van de ingepolderde Zuiderzee, werd na rijp beraad gekozen voor een nog extensievere vorm van beheer. Daar komen nu weer grote, wilde herbi-voren voor.

15. Sinds de Middeleeuwen bezitten omwonende boeren het recht om een beperkt aantal grazers (paarden) in te scharen in het omheinde bosgebied New Forest in Engeland. Het al enige eeuwen extensief beweidde bos is zeer soortenrijk en bezit meer natuurwaarde dan de 'boomplantages' die wij 'bossen' noemen.

16. In de zuidelijke en oostelijke delen van Europa is de dorpsheerder met zijn kudde nog functioneel, maar dat zal niet lang meer duren. Hier in beeld een schaapsherder in Noord-Joegoslavië.



16



Literatuur

- Bie S de, Joenje W, Wieren SE van, red. *Begrazing in de natuur*. Wageningen: Pudoc, 1987.
 Hermy M, red. *Natuurbeheer*. Brugge: Van de Wiele, Stichting Leefmilieu, Natuurreservaten en Instituut voor Natuurbehoud, 1989.
 Hillegers H. Kalkgraslanden – Biotoop herschapen. *Natuur & Techniek* 1986; 54: 4, 264-275.
 Hillegers H. De brandnetel – Plaaggeest of gastheer. *Natuur & Techniek* 1989; 57: 8, 582-593.
 Vera F. De Oostvaardersplassen – Van spontane natuuruitbarsting tot gerichte natuurontwikkeling. Amsterdam/Haarlem: IVN/Grasduinen, 1988.

Bronvermelding illustraties

- Naar Thalen DCP: 1. Uit: Bie S de, ea. *Begrazing in de natuur*.
 V. Wigbels/Biofaan, Lelystad: 572-573, 2, 4, 5, 6, 12, 13 en 14.
 Naar Wieren SE van: 7 en 8. Uit: Bie S de, ea. *Begrazing in de natuur*.
 Geert Hendrickx, Maastricht: 10 en 11
 Martin Hermy/Instituut voor Natuurbehoud, Hasselt: 15
 De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir S. Rozendaal.

EEN ECHTERNACHSE PROCESSIE

Simon
Rozendaal

Een discussie tussen Hendrik
Casimir en Erik Jan Tuininga over
het sturen van de techniek

Techniek heeft voordelen en nadelen. Nieuwe technieken dienen de mens, maar veroorzaken tegelijkertijd nieuwe problemen. Ook daar zijn weer oplossingen voor, door middel van nog nieuwere technieken maar ook die hebben weer hun nadelen. Kernenergie produceert goedkope elektriciteit maar tevens het gevaar op een groot ongeluk plus stralend afval – voor- en

nadelen tegelijkertijd. Valium was tegelijkertijd een oplossing voor de medische problemen van sommigen als een bron van problemen (zoals verslaving) voor anderen. Over de vraag of en zo ja, hoe de maatschappelijke nadelen van nieuwe technieken kunnen worden voorkomen, discussieerden enige tijd geleden op een Studium Generale (met de titel *De perfecte ma-*

chine) van de Hogeschool Utrecht prof dr H.B.G. Casimir en prof ir E.J. Tuininga, onder voorzitterschap van de auteur van dit artikel. Beide sprekers hielden eerst een lezing (die hier verkort wordt weergegeven) en gingen vervolgens in debat. Hendrik Casimir is de *grand old man* van de Nederlandse natuurkunde. De deze zomer 82 wordende Casimir heeft

Techniek is een compromis en dus nooit perfect *Lezing Casimir (ingekort)*

“Een vriend van mij, die in Delft werktuigbouwkunde gestudeerd had, placht altijd een college over de *Zeugerstang* aan te halen. Dat college ging als volgt. Mijne heren – dames waren er nog niet in de machinebouw – maken we de Zeugerstang te dik dan is hij te zwaar, maken we hem te dun dan gaat hij kapot. We maken hem zo dat hij juist goed is. Dit nu is het compromis waar je in de techniek altijd tegenaan loopt.

Toen de tl-buizen opkwamen, leefden die zonder dat men veel extra moeite deed, zo'n tweeduizend uur. De neiging van de koopman was om te zeggen 'dat is welletjes', twee keer zoveel als de gloeilamp, daar moeten we het bij laten. Dat lukte natuurlijk niet want al gauw kwamen er firma's op de markt die garandeerden dat zij tl-buizen konden maken die acht- of tienduizend uur leefden. Toen moesten dus alle fabrikanten ervoor zorgen dat zij dat ook konden. Hieruit zie je dan tevens het nut van concurrentie.

Ik zou nu iets willen zeggen over de manier waarop nieuwe produkten tot stand komen. Voor mijn gevoel is het nog steeds zo, dat de meeste dingen in

onze moderne techniek teruggrijpen op wetenschappelijke resultaten die tot stand zijn gekomen zonder dat er een directe druk of trek in een bepaalde richting werd uitgeoefend. We kunnen beslist niet zeggen dat Maxwell en Hertz hun werk aan elektromagnetische golven hebben gedaan voor mensen die streefden naar een snellere communicatie. We kunnen niet zeggen dat het elektron ontdekt werd omdat men daarmee later televisiebuizen zou kunnen maken. In eerste aanleg is de invloed van de maatschappij bij een wetenschappelijke ontwikkeling gering.

Die probeert men wel eens groter te maken. Ik geloof daar niet zo in. Ik geloof bijvoorbeeld dat de universitaire wereld een slechte dienst aan de industrie zou bewijzen als ze teveel naar de industrie zou luisteren. Een industrieel of een technicus kan niet overzien wat men over tien jaar nodig zal hebben. Kunnen wetenschapsmensen dat wel? Ook niet, maar door de inwendige structuur van de wetenschap te volgen zullen ze dichter komen bij wat de toekomst nodig zal hebben dan wanneer men direct uitgaat van de nu al zichtbare eisen.

bijna alle grote fysici van deze eeuw de hand geschud, heeft bij Wolfgang Pauli gewerkt, bij Niels Bohr gelogeerd, was hoogleraar in Leiden, directeur van het Natlab van Philips, lid van de raad van bestuur van Philips en president

van de Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen. De laatste jaren doorloopt Casimir bovendien een tweede (of misschien zelfs derde) jeugd als auteur. Hij heeft enkele fascinerende boeken over de rol van weten-

schap in de samenleving geschreven (vooral *Het toeval van de werkelijkheid* is een ieder aan te raden) en publiceert tevens regelmatig in *De Gids* en *NRC Handelsblad*. Erik Jan Tuininga is hoogle- raar in de maatschappelijke



Hendrik Casimir (links) discussieert met Erik Jan Tuininga (rechts) onder leiding van Simon Rozendaal. Plaats van handeling: Hogeschool Utrecht (foto: Ton Minnen, 't Sticht)

Hoe gaat de ontwikkeling van een techniek nu eigenlijk? Worden technische zaken gemaakt omdat ze wenselijk zijn of worden mensen gemanipuleerd om bepaalde dingen te willen hebben die ze eigenlijk misschien helemaal niet zo graag willen?

Daarbij is het leerzaam om naar de landen te kijken waar commerciële motieven in veel mindere mate gelden. Je zou verwachten dat die komen tot produkten met een zekere perfectie in hun aanpassing aan werkelijke behoeften. Wel, dat valt tegen. Meestal ziet men min of meer geslaagde kopieën van wat er in het Westen is gemaakt. Ik heb indertijd geprobeerd nauwkeurig te kijken naar een Chinese fiets maar heb daar geen enkel Maoïstisch trekje aan kunnen ontdekken. Enkele dingen waren op een iets andere manier geconstrueerd. Een voorvork was soms met bouten in elkaar gezet — waarschijnlijk omdat ze zo'n smeedstuk niet konden maken. Ik sprak eens met een hoogleraar in de marxistische wijsbegeerte, die zei "als bij jullie een ontwikkeling niet winstgevend, niet rendabel, kan zijn, dan is diezelfde ontwikkeling bij ons waarschijnlijk sociaal niet te rechtvaardigen."

Oppenheimer heeft eens gezegd 'the hydrogen bomb is technologically sweet'. Technologisch en zoet, dat is zo'n grillige tegenspraak, daarom heeft hij het waarschijnlijk ook gezegd. Maar je kunt iets hebben dat verkeerd is, dat slechts is, en dat toch een zekere mate van technische aantrekkelijkheid en misschien zelfs een zekere mate van perfectie in zich bergt.

Dat brengt ons op de vraag wie er eigenlijk verantwoordelijk is voor de gang van zaken. Zijn dat de klanten van de techniek, de opdrachtgevers, de technici, de wetenschapsmensen die de wetenschap hebben aangedragen waaruit de technici hebben kunnen putten? Eigenlijk zou iedereen graag de verantwoordelijkheid op een ander willen afschuiven.

Dit is iets waar ik het antwoord niet op weet. Een fundamenteel werkende natuurkundige kan niet voorzien wat er met zijn dingen gedaan zal worden. Toch voelt hij zich achteraf verantwoordelijk. Men kan de ontdekking van de uranium-splijting evenmin ongedaan maken als de ontdekking van Amerika."

De samenleving vraagt er toch om? *Lezing Tuininga (verkort)*

"De laatste vijftien jaar zijn er drie fasen geweest in de technologie. Je had de wederopbouwfase die tot het eind van de jaren zestig duurde. De periode van de Amerikaanse uitdaging, dat we dachten van de plaat gepoetst te worden door de Amerikaanse technologie. Toen kwamen de jaren zeventig, toen men zei 'technologie, is dat eigenlijk wel zo goed voor ons?' Intussen hebben we de derde fase, de jaren tachtig van 'het nieuw technologisch elan', weer achter ons en ik vraag me af wat de vierde fase zal worden. Ik hoop dat de balans terugkomt. Niet dat negatieve, niet dat hele enthousiaste maar een beetje enerzijds-anderzijds.

Wetenschap is *know why* terwijl technologie *know how* is, *know what*, *know when*. Technologie is optimalisatie. Daarbij moeten ook zachtere criteria een rol spelen: veiligheid, risico's, milieu, arbeid.

Ik probeer de bèta-studenten aan wie ik les geef duidelijk te maken dat het bij de ontwikkeling van technologie niet alleen gaat om de hoofddef-

ecten maar ook om de onbedoelde neveneffecten die vaak verder weg liggen en minder duidelijk zijn. Antibiotica beheersen infecties maar leiden ook tot resistente bacteriën in de gezondheidszorg. Kernenergie is een energievoorziening op langere termijn maar heeft ons ook Tsjernobyl, vermoedelijk de grootste technologische ramp die ooit heeft plaatsgevonden, opgeleverd.

In het begin van een wetenschappelijke ontwikkeling is er niet zoveel invloed van de buitenwereld en de vraag is of die niet groter moet worden. Mijn zorg is, en dat is dan het enige verschil dat ik echt met de heer Casimir naar voren breng, dat je zo weinig van deze bezorgdheid terug vind in de wereld van wetenschap en technologie zelf. Teveel mensen vinden met Oppenheimer technologie *sweet*. Je doet gewoon leuke dingen en je ziet later wel wat er van komt. De samenleving vraagt er toch om, mijn vriend wil gewoon 160 rijden en hij wordt toch niet gecontroleerd en de overheid kan er toch niets aan doen?"

aspecten van de wiskunde, informatica en natuurwetenschappen. Eerder werkte hij bij TNO in Apeldoorn en was daar betrokken bij het opzetten van het Studiecentrum voor Technologie en Beleid. Ook speelde hij een belangrijke rol in het Nederlandse verzet tegen kernenergie als lid van de Bezinningsgroep Energiebeleid en is actief betrokken bij de discussie in de Nederlandse kerken over de maatschappelijke betekenis van wetenschap en techniek. Het aardige van de discussie tussen deze twee is dat Tuininga zich al diverse keren in publikaties tegen Casimir heeft afgezet. Zo schreef Tuininga in 1987 (in *Intermediair*): "Graag zou ik zijn gedachten over de verantwoordelijkheid van de wetenschap gebundeld zien. Want soms wil hij iets te gemakkelijk de verantwoordelijkheid voor alle praktische toepassingen afschuiven naar de mensheid, de politiek of de technici. Te-

gelijk wil hij, gezien zijn eerdere bijdragen, dat de wetenschappers zelf meer kritische reflectie plegen en dit doorgeven aan de besluitnemers. Hij heeft immers zelf de moed gehad zich in het openbaar uit te spreken tegen kernwapens en kernenergie: "Old men worry about the future". Ik heb Casimir eens gevraagd hoe het komt dat de generaals in het leger, de politiek en de wetenschap vaak pas na hun pensionering zo kritisch worden. Te weinig erudiete generaals in de wetenschap en technologie brengen de huidige officieren (en vooral cadetten) bij wat kritische reflectie is. Juist nu deze dagen alom de technologie-euforie de samenleving dreigt te domineren, is dat meer dan ooit nodig. Zijn antwoord op mijn vraag kwam op het volgende neer: als je ouder wordt, word je wijzer. Het is het paradoxale in Casimirs publikaties dat hij wel boeiend kan schrijven over een wetenschap-techno-

logiespiraal die op hol slaat, maar zijn welversneden pen nog te weinig in dienst stelt van het rem- en stuurmechanisme."

De discussie

Rozendaal: "Eigenlijk liggen de standpunten van u beiden dicht bij elkaar. Tuininga benadrukt tegenwoordig heel sterk de neveneffecten van wetenschap en techniek maar ik wil er op wijzen dat Casimir zich lang geleden ook al kritisch opstelde. Zo bespote hij in een citaat uit 1958 de zelfverzekerdheid van exacte wetenschapsmensen: "Ik heb een vrouw gekend wier voormalige echtgenoot, een drankzuchtige timmerman, haar in beschenken toestand placht toe te spreken met de woorden 'dit huis is gemaakt door een timmerman, de stad is gemaakt door een timmerman, de hele wereld is gebouwd door timmerlui, ik ben een timmerman, kniel voor

Erik Jan Tuininga: "Laten we eens fundamenteel onderzoek in het milieu stoppen in plaats van in die bodemloze put die kernfusie heet."

Hendrik Casimir: "Bij de eerste fundamentele gedachten moet men bepaalde mensen op hun woord geloven en ze de vrije hand geven."

mij neer'. Zo zou men al te grote aanmatiging van de fysici kunnen karakteriseren als grootheidswaanzin van een zatte timmerman."

In 1958 waren er nog niet veel wetenschapsmensen die op die manier naar hun eigen vak keken. De nuance is mijns inziens dat Casimir meer de observeerder, de analyseerder is, en Tuininga twijfel over wetenschap niet alleen heel belangrijk vindt maar die twijfel ook enigszins predikt, hij vindt dat anderen ook moeten twijfelen.

Ik zal toch proberen uw opvattingen enigszins uit elkaar te trekken. Daartoe wilde ik beginnen met het zogenoemde

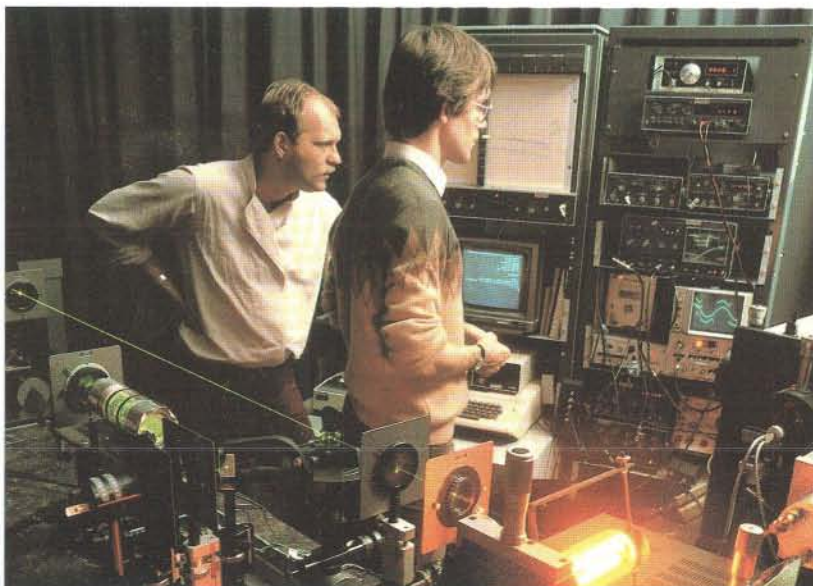
controledilemma. In het begin van de ontwikkeling van een techniek is het redelijk wel mogelijk die techniek in een bepaalde gewenste richting te sturen. Alleen hebben de onderzoekers op dat moment geen tijd om over de consequenties na te denken, ze hebben hun handen vol aan de wetenschap. Zouden ze wel tijd hebben dan kunnen ze vaak absoluut niet aangeven op welke manier er in de toekomst wellicht gebruik zal worden gemaakt van hun idee of vondst. Op het moment dat er wel zicht is op welke kant het opgaat, zijn de sturingsmogelijkheden daarentegen nogal beperkt. Hoe denkt

u, meneer Tuininga, dit dilemma op te lossen?"

Tuininga: "Dat dilemma is inderdaad een probleem. Je ziet het in de farmaceutische industrie ook mooi. Voordat men een geneesmiddel heeft, moet men zo'n zeventuizend molekulen in het laboratorium onderzoeken. Het heeft geen zin om de maatschappelijke consequenties van al die zeventuizend molekulen na te gaan. Pas als er tien overgebleven zijn en je moet er drie uitsélectioneren kan de maatschappelijke dimensie een rol spelen. Mijn punt is dat in de vroege fase van een technische ontwikkeling de criteria toch bovenal commercieel of technologisch zijn. Er wordt weinig nagedacht of men wegen die er technologisch of commercieel aantrekkelijk uitzien, om maatschappelijke redenen wellicht toch links zou moeten laten liggen.

Ik ben al tien à vijftien jaar betrokken bij waterstof als mogelijke energiedrager. Daar wordt eindeloos op gestudeerd, iedere keer wordt

Toepassing van laser in het onderzoek aan een gloeilamp (foto: Philips)



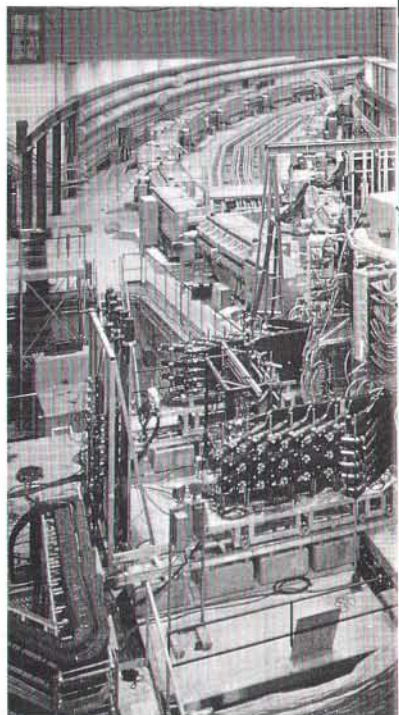
het weggelachen omdat het technologisch onmogelijk is. Toch blijf ik er bij dat het om maatschappelijke redenen op de agenda moet blijven, al is het technologisch en commercieel momenteel niet acceptabel. Waarom? Omdat de werkelijkheid vol toeval zit en dankzij een doorbraak waterstof toch wel eens een goede oplossing zou kunnen worden voor een aantal milieu- en veiligheidsproblemen van de huidige energiedragers. Vaak worden in een discussie om technisch-commerciële redenen wegen afgesloten die je open zou moeten houden. Ook vroeg in de ontwikkelingsfase van een techniek worden er beslissingen genomen die te weinig maatschappelijk ingegeven zijn."

Rozendaal: "Ik heb eens Nico Bloembergen geïnterviewd, de Nederlands-Amerikaanse Nobelprijswinnaar die een rol speelde bij de ontwikkeling van de laser en de NMR-techniek, die nu in ziekenhuizen wordt toegepast. Ik vroeg hem of hij zich de negatieve toepassing van de laser, onder andere in de oorlogvoering (Star Wars), destijds had gerealiseerd. Hij zei dat hij het veel te druk had met de ontwikkeling van laser en NMR om zich daarmee bezig te houden en zelfs al had hij het gedaan, dat hij dan maximaal vijf procent van alle toepassingen van beide apparaten had kunnen bedenken. Ik herhaal dus mijn vraag, meneer Tuininga, hoe kun je een techniek sturen als de mensen die het meest van de techniek afweten geen zicht hebben op welke kant het opgaat?"

Tuininga: "Je moet niet zozeer naar een individuele wetenschapper of wetenschapsgroep kijken. Je moet sturen naar bepaalde sectoren. In de energiediscussie is waterstofonderzoek meestal weggela-

chen zoals windenergie-onderzoek en zonne-energieonderzoek jarenlang als belachelijk en niet commercieel acceptabel zijn weggehoond."

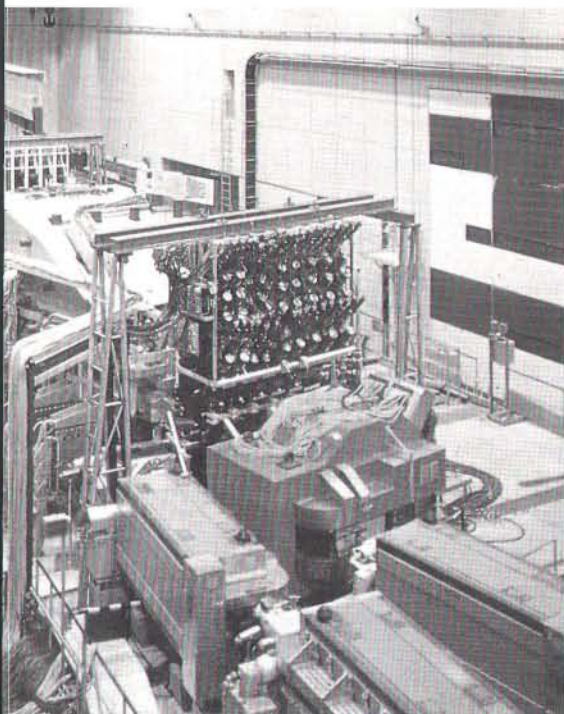
Casimir: "Mag ik iets zeggen over het punt of het mogelijk is dat iets dat eerst niet kan later door andere technieken toch wel mogelijk wordt? Voor de Tweede Wereldoorlog was de toenmalige directeur van het Philips laboratorium, Holst, ervan overtuigd dat de home-cineac er moest komen. Er zou een grote markt komen voor filmvertoningen thuis. Hij heeft dus ook werk laten doen naar goedkopere emulsies waarmee je zou kunnen kopiëren. Dat heeft niet veel effect gesorteerd en daarover heeft men gelachen. Het merkwaardige is dat datgene waar hij zich sterk voor heeft gemaakt er via een omweg van televisie en video toch is gekomen. Ook



Erik Jan Tuininga: "Zoiets als het medisch tuchtrecht zou er ook voor ingenieurs moeten komen."

werd er in het Philips-laboratorium gewerkt aan de brievenmachine. Dat was eigenlijk een voorloper van de telefax. Er is toen een enkel prototype van gemaakt maar niemand zag daar industrieel of commercieel heil in. In die tijd was een apparaat met duizend radiobuizen al iets verschrikkelijk groots en professioneels en duurs. Maar wat is tegenwoordig een schakeling met duizend actieve elementen? Dus, inderdaad, geef niet iets op omdat het praktisch niet gerealiseerd kan worden. Die waterstof als ideale energiedrager, daar zou ik best van kunnen geloven dat het op een gegeven ogenblik mogelijk zou worden."

Tuininga: "Je kunt de redenering ook omdraaien. Er is fundamenteel wetenschappelijk onderzoek dat ik waanzinnig vindt. Kernfusie bijvoorbeeld. Dat blijf ik volstrekte onzin vinden. Er is meer reden om het geld in ander fundamenteel onderzoek te stoppen. Het heeft nu veertig jaar zijn tijd gehad en moet maar op een zachte pit doorbroddelen. Op een gegeven moment moet het afgelopen zijn. Dan hou je geld over om de kolossale fundamentele onbekendheden bij het milieuprobleem te onderzoeken. Laten we daar eens fundamenteel onderzoek in steken, in plaats van in die bodemloze put die kernfusie heet."



Geven we wel of niet honderden miljoenen uit aan deeltjesfysica? (foto: CERN)

Rozendaal: "Nu wordt het leuk. Moeten we nu met kernfusie maar stoppen omdat er tot nu toe te weinig uitkomt, meneer Casimir?"

Casimir: "De grondbegrippen van de kernfusie liggen wel aardig vast. Het is bij kernfusie nu nog een reusachtig technologisch probleem en pas als men iets nieuws zou vinden is er aanleiding om met het fundamenteel onderzoek door te gaan. Een groter gewetensprobleem dan de kernfusie is voor mij de deeltjesfysica. Daar worden versnellers gebouwd die enige miljarden kosten en waarmee je nieuwe deeltjes vindt, die een miljoenste van een miljoenste van een miljoenste seconde leven. Daar ziet men nog geen enkele mogelijke toepassing, de bedragen zijn enorm en ik heb moeite met de vraag of dit onderzoek nog wel verantwoord is."

Rozendaal: "Een bouwer van een Amerikaanse versneller antwoordde eens op de vraag wat het belang van zo'n kilometerslange ondergrondse versneller was, dat een land dat aan dit soort fundamenteel onderzoek doet, de moeite waard is om verdedigd te worden. Met andere woorden, het is een kenmerk van geavanceerde beschaving. Bent u het daar niet mee eens?"

Casimir: "Ja, daar ben ik het wel mee eens. Abstract-theoretisch vind ik het prachtig maar ik vraag me wel af of het die miljarden waard is. Wel zie ik een hoop dingen waar miljarden aan worden uitgegeven, die ik nog veel onverstandiger vind."

Tuininga: "Met elkaar geven we elf miljard aan wetenschap en technologie uit in dit land en daar moeten keuzen voor worden gemaakt. Geven we

wel of niet honderden miljoenen aan deeltjesfysica?"

Rozendaal: "Maar de samenleving werkt toch niet zo, meneer Tuininga, dat wanneer je geld bij kernfusie vandaan haalt en dat in het milieuprobleem stopt, dat dan het milieuprobleem is opgelost? Misschien heb je juist om het milieuprobleem op te lossen, wel onderzoek op heel andere terreinen nodig."

Tuininga: "Het is inderdaad een probleem waar je met het oog op tien jaar in moet investeren. Zoeken we soms niet oplossingen zonder dat we de fundamenteen behoorlijk bestudeerd te hebben. Bij het milieuprobleem hoor ik van insiders dat we te weinig weten van chemische reacties in de grond en het water om beslissingen te kunnen nemen."

Rozendaal: "Stel dat we fundamenteel milieu-onderzoek gaan doen, hoe kunnen we dan garanderen dat er een brede maatschappelijke bemoeienis met dat onderzoek is om toepassingen in een gewenste richting te sturen?"

Tuininga: "De simpelste oplossing is om Lucas Reijnders in de begeleidingsgroep te zetten. Je moet *watchdogs* hebben, mensen die hun oor te luister leggen bij de maatschappelijke organisaties en aan de andere kant verdraaid goed weten hoe de wetenschap in elkaar steekt. Die mensen heb je in het bedrijfsleven en in de samenleving nodig."

Rozendaal: "Als u terugdenkt aan de belangrijkste wetenschappelijke ontwikkelingen die u van nabij heeft meegemaakt, meneer Casimir, was het zinnig geweest als Lucas Reijnders en Erik Jan Tuininga over uw schouders mee hadden gekeken? Hadden ze wat kunnen zien, hadden ze kunnen sturen?"



De Echternachse Springprocessie: twee stappen vooruit en één terug (foto: Société d'Embellissement et de Tourisme, Echternach)

Casimir: "In eerste instantie niet. Ik kan me niet voorstellen dat dergelijke *watchdogs* veel gezien zouden hebben in het onbegrijpelijk goochelen met matrices door Heisenberg, in de nieuwe quantummechanica, of in de grondgedachte van Einstein waaruit later de laser is voortgekomen. Aan de andere kant, zodra dingen wat dichterbij de toepasbaarheid komen, dan kan ik me voorstellen dat daar gestuurd zou kunnen worden. Maar bij de eerste fundamentele gedachten moet men eenvoudig maar geloven in bepaalde mensen en die de vrije hand geven."

Rozendaal: "Met andere woorden, *watchdogs* zijn zinloos, meneer Tuininga, als het om technologie gaat maar niet bij fundamentele wetenschap."

Tuininga: "Daar ben ik het ook mee eens. Wel denk ik

dat als we openbare discussies hebben over of we honderd miljoen aan deeltjesfysica, aan Sanskriet of aan milieuchemie geven, dat ik de maatschappelijke afweging weer wat anders zou maken. En iemand in de begeleidingscommissie zou willen die iets meer maatschappelijk inzicht heeft. Maar om nou *watchdogs* bij het Philips Natlab neer te zetten, dat lijkt me ook niet verstandig. Ik begrijp vermoedelijk dat gegoochel van meneer Casimir niet. Gelukkig, denk ik, want ik probeer weer andere dingen te begrijpen."

Rozendaal: "Moet bij de discussie over de interactie tussen wetenschap, technologie en samenleving het initiatief bij de technologen liggen, meneer Tuininga?"

Tuininga: "Technologie zit zo'n beetje halverwege tussen de fundamentele wetenschap en de markt. Ik denk dat het

gevaarlijk is als technologen de neiging hebben om de zwarte piet door te spelen. We krijgen de opdracht en men betaalt ons ervoor. Dat begint al op 'wir haben es nicht gewusst' te lijken. Natuurwetenschappers en ingenieurs worden vaak over één kam geschoren, maar ingenieurs zijn toch doeners en natuurwetenschappers zitten meer aan de denkkant. Ik denk dat het dus ongelooflijk belangrijk is dat vooral ingenieurs zich afvragen waarmee ze bezig zijn."

Rozendaal: "De technoloog heeft dus een sleutelpositie. Dat hebben dokters ook, die zitten ook tussen de wetenschap en de markt in. Nu hebben artsen hun eed van Hippocrates waarmee ze zweren hun technologie op een verantwoorde wijze toe te passen. Hebben de ingenieurs ook zo'n eed nodig? Bij Akzo

heeft Erik Houwink, net hoogleraar biotechnologie geworden, zo'n eed voor zichzelf opgesteld. Lijkt u dat een goede aanpak, meneer Casimir?"

Casimir: "In de praktijk zal het moeilijker zijn dan voor de medici. Die vormen een duidelijke groepering. Terwijl technologen in zo totaal verschillende posities en omstandigheden werken dat het veel moeilijker wordt. Dus ik ben bang dat als men iets zou willen maken dat algemeen aanvaard wordt, dat het te zwak wordt. De groep is te groot. Dit verantwoordelijkheidsgevoel is voor de ene technicus natuurlijk groter dan voor de andere. Mijn vroegere collega Rathenau, later een van de directeuren van het Natlab, was een uiterst consciëntieus man. Hij was betrokken bij een nieuwe stof waar je permanente magneten van kon ma-

bestaan. Bij de medische beroepscode heb je het medisch tuchtrecht maar zoiets is er voor ingenieurs niet. Maar de discussie is goed. In de opleiding van Amerikaanse ingenieurs zit er altijd *technology and ethics* bij. Wat zou je doen als je moest beslissen om een vies rommeltje te lozen en je wist dat de sloot al veel te ver belast was? Dat leert mensen na te denken over andere criteria, de zachte criteria."

Rozendaal: "Hoe zou, meneer Casimir, de bewustwording van de technologen op het Natlab van Philips kunnen worden gestimuleerd?"

Casimir: "Door particulier initiatief. Dat is op het Natlab ook wel gebeurd, dat zich discussiegroepen om bepaalde figuren heen vormden. Daar kan een directie vergadering ruimte en dat soort dingen aan geven, maar ik geloof niet dat men dit vanuit de leiding

Hendrik Casimir: "Ik geloof dat de universitaire wereld een slechte dienst aan de industrie zou bewijzen als ze teveel naar de industrie zou luisteren."

ken en hij realiseerde zich dat die stof ook geschikt zou zijn voor allerlei soorten magnetisch speelgoed. Ook beseft hij dat kinderen alles in de mond steken. Dus was het noodzakelijk, voordat je die stof vrij gaf, om een toxicologisch onderzoek uit te laten voeren. Gelukkig bleek de stof zeer onschadelijk."

Tuininga: "Mag ik daar iets over opmerken?"

Casimir: "Ja."

Tuininga: "Bij het Koninklijk Instituut van Ingenieurs en bij chemische beroepsverenigingen vraagt men zich af of men niet naar een beroepscode toe moet. Het grote probleem is dat er eigenlijk geen sancties

van een laboratorium moet organiseren. Dan zal de onpartijdigheid niet altijd vast staan, in ieder geval niet aanvaard worden."

Rozendaal: "Met de beide heren concludeer ik dat de perfecte machine niet bestaat en er voorlopig niet zal komen ook. De ontwikkeling van techniek zal een Echternachse processie blijven. Twee stappen naar voren, één achteruit, het ziet er vreemd uit maar na verloop van tijd komt men toch ergens uit. Laten we hopen dat het met de techniek ook zo zal gaan."

NATUUR & TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau BV te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Voor België:

Boechtstraat 15,

1860-Meuse/Brussel.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.

Advertenties:

R.A. Bodden-Welsch.

Telefoon: 0(0-31)43 254044.

Telefax: 0(0-31)43 216124.

Voor nieuwe abonneementen:

0(0-31)43 254044 (tot 21.00 u,

ook in het weekend).

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK.

Door een lidmaatschap te nemen betaalt u voor elk boek een serieprijs die veel lager is dan de losse prijs. Voor inlichtingen: 0(0-31)43 254044.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): f 112,50 of 2200 F. Voor drie jaar: f 265,— of 5195 F. Prijs voor studenten: f 85,— of 1660 F.

Overige landen: + f 35,— extra porto (zeepost) of + f 45,— tot f 120,— (luchtpost).

Losse nummers: f 10,95 of 215 F (excl. verzendkosten).

Distributie voor de boekhandel:

Betapress BV, Gilze. Tel.: 01615-7800.

Abonnementen op **NATUUR & TECHNIEK** kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli (eventueel met terugwerkende kracht), doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. **TUSSENTIJD**s kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31

t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank NV te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 423-907 0381-49.

Een dochter op bestelling

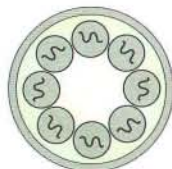
In Natuur & Techniek april 1989 berichtte ik over een doorbraak in de bepaling van het geslacht van jonge menselijke embryo's. In relatief korte tijd is de medische toekomst die we voorspelden al realiteit geworden. Dezelfde groep onderzoekers en artsen van het Hammersmith Hospital in Londen is er nu in geslaagd om zwangerschappen tot stand te brengen met vrouwelijke embryo's die zijn verkregen door reageerbuisbevruchting en van wie het geslacht al voor het moment van inplanting bekend was. Kandidaten voor dit soort van futuristische medische technologieën zijn erfelijke belaste echtparen, die voorheen reeds zwangerschapsonderbreking van diverse vruchten hebben meegemaakt. Bij deze echtparen is de moeder drager van een recessieve X-chromosoom-gebonden erfelijke aandoeningen. De moeder is zelf normaal want ze is drager van één defect gen en één normaal gen. In een op twee gevallen geeft ze dat defecte gen echter door aan haar zoon, die dan aan de erfelijke aandoening lijdt omdat mannelijke individuen over slechts één X-chromosoom beschikken. Dergelijke echtparen kunnen een ware lijdensweg ondergaan. De ziekte treft vaak broers en neven van de moeder en daardoor krijgen de ouders een vooruitblik op wat ze later bij eigen zonen kunnen verwachten.

Soms is rechtstreekse prenatale diagnose van de aangetaste mannelijke foetus mogelijk, maar in de meeste gevallen geldt enkel het geslacht als criterium voor de beslissing tot zwangerschapsonderbreking. Er wordt dan in één op twee gevallen een volkomen normale mannelijke vrucht geaborteerd. Bovendien kan men deze diagnostische technieken pas toepassen als de zwangerschap reeds enkele weken of

maanden op gang is. Het spreekt vanzelf dat dergelijke procedures dan ook met een zwaar psychologisch trauma kunnen gepaard gaan. Dankzij een combinatie van moderne moleculair-genetische en -reproductieve technieken is daar nu verandering in gekomen en kunnen deze paren een zwangerschap aanvatten met de zekerheid dat ze een normaal kind ter wereld zullen brengen. Toch zal de techniek om logistieke redenen in de toepassing wel beperkt blijven en enkel om ernstige medische redenen worden gebruikt.

De embryo's worden geproduceerd door middel van reageerbuisbevruchting of *in vitro* fertilisatie (IVF). Drie dagen later bestaat het embryo uit een klompje van zes tot acht cellen. Met behulp van micromanipulatoren peult men een of twee cellen los (zie schema). De minuscule hoeveelheid DNA in deze cellen wordt onderworpen aan de *polymerase chain reaction* (polymerase kettingreactie, afgekort PCR). Met deze techniek vermenigvuldigt men een welbepaalde DNA-afgesneden van het (mannelijke) Y-chromosoom op exponentiële wijze, tot het met conventionele technieken zichtbaar kan worden gemaakt voor het blote oog. Vrouwelijke embryo's hebben geen Y-chromosoom en leveren dus geen PCR-sigitaal op.

De onderzoekers oefenden deze techniek op voorhand met 'overtollige' IVF-embryo's, totdat ze vrij zeker waren dat de afwezigheid van een PCR-sigitaal inderdaad betekent dat het om een vrouwelijk embryo gaat in plaats van dat de techniek hun in de steek laat. De hele procedure beslaat slechts acht uur tijd, zodat nog dezelfde avond de gewenste - lees vrouwelijke - embryo's selectief bij de moeder kunnen worden ingeplant.

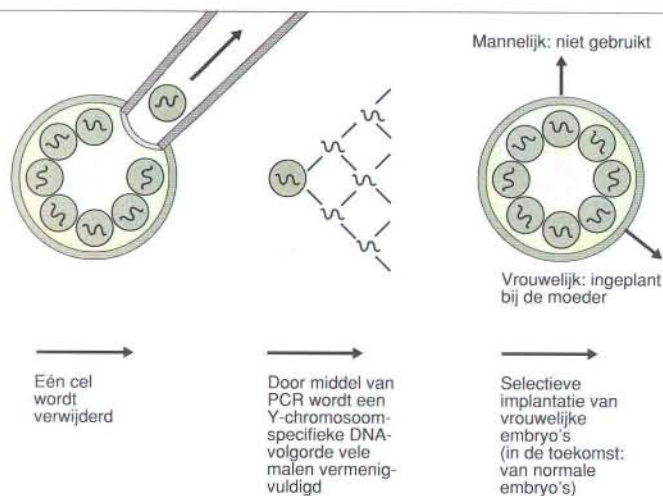


Menselijk embryo drie dagen na de bevruchting (zes tot acht cellen)

Cruciaal voor de medische toepassing is het bewijs dat een dergelijke manipulatie de normale embryonale ontwikkeling niet verstoort. Een belangrijke aanwijzing is dat zelfs op een later stadium dan de derde dag na de bevruchting, een menselijk embryo zich nog kan splitsen om een eenige tweeling te vormen. Het embryo zou dus gerust die één of twee verwijderde cellen kunnen missen.

De artsen hebben niettemin in een eerste fase grondig de ontwikkeling van de door hun gemanipuleerde embryo's bestudeerd, om er zeker van te zijn dat deze geen schade hadden ondervonden. De stofwisseling, de celdeling en de verhouding tussen bepaalde delen van het latere embryo bleken normaal te zijn. Wel waren de embryo's iets kleiner dan gewoonlijk, maar men verwachtte dat ze later hun achterstand zouden inhalen.

Uiteindelijk werd dan de sprong gewaagd naar een echte zwangerschap. De onderzoekers publiceerden hun bevindingen nadat twee zwangerschappen van tweelingzusjes zich normaal bleken te ontwikkelen gedurende de eerste twintig weken. Het is dus nog niet



bekend of de kinderen wel normaal ter wereld zullen komen. De redactie van het Britse vakblad *Nature* bracht het artikel in een recordtijd in druk. Deze haast langs beide kanten blijkt een politieke achtergrond te hebben. Het artikel, waaraan veel ruchtbaarheid werd gegeven in de Britse pers, verscheen namelijk enkele dagen voordat in het Britse Lagerhuis de belangrijke stemming zou plaatsvinden over twee alternatieve wetsvoorstellen betreffende onderzoek op menselijke embryo's.

Het ene voorstel zou elke vorm van onderzoek gewoonweg verbieden en dus strafbaar maken, terwijl het andere voorstel de aanbevelingen van het in 1984 uitgevaardigde *Warnock Report* volgt. Dit laatste rapport laat in essentie onderzoek toe, maar onder strikte regulatie en niet later dan veertien dagen na de bevruchting.

Het Hogerhuis had in februari reeds met een meerderheid van drie tegen één pro gestemd; er werd dan ook duchtig gelobbyd bij leden van het Lagerhuis, ondermeer door de pro-researchgroep PROGRESS, waarvan de hoofdauteur van het artikel in

Nature, dr Robert Winston, de voorzitter is. Vier dagen na de publicatie van het artikel werd het voorstel met 364 tegen 193 stemmen aangenomen. Groot-Brittannië, dat een lange pionierstraditie kent op het gebied van de embryologie, werd hiermee het eerste land dat manipulatie van menselijke embryo's wettelijk in detail regelt.

In een volgende fase zal het Londense team trachten de rechtstreekse preimplantatie-diagnose van het genetische defect zelf uit te voeren, in plaats van de onrechtstreekse weg te volgen van de bepaling van het geslacht waarbij de helft van de mannelijke embryo's toch normaal is maar niet wordt gebruikt. Voor een rechtstreekse diagnose moet evenwel het ziektegen geïsoleerd zijn – en dat is bij een minieme minderheid van de duizenden erfelijke aandoeningen het geval. Als eerste niet-X-gebonden ziekte denkt het onderzoeksteam aan *mucoviscidose*, de meest frequente recessieve erfelijke aandoening in onze gewesten. Om technische redenen is het onderscheid tussen het defecte gen en de normale versie hier evenwel niet zo makkelijk te maken.

Kort na publicatie van dit artikel bewezen twee andere Engelse onderzoekers van het Londense University College de mogelijkheid van een alternatieve vorm van preimplantatie-diagnose. Zij slaagden erin om met PCR vast te stellen of het poollichaampje, dat tijdens de meiose van de menselijke eicel wordt afgesplitst, een normale dan wel een sikkelcelanemie-versie van het β -hemoglobinegen bevatte. Indien het poollichaampje normaal is, is de bijbehorende eicel abnormaal en omgekeerd, alhoewel er soms recombinante tussenvormen kunnen ontstaan. Voordeel van deze aanpak is dat de selectie al op het niveau van de onbevuchte eicellen kan gebeuren, dus voor IVF. Er zijn dan ook veel minder ethische problemen, aangezien enkel de gewenste embryo's worden gecreëerd. Bovendien behoeft aan het embryo zelf niet te worden geprikt om de diagnose te verrichten.

Het is duidelijk dat de integratie van deze moderne technologieën buitengewone beloften inhoudt. Doch tot een wijdverspreide negatieve eugenetica op basis van eicel- of embryoselectie zal het wel niet zo vlug komen, gezien de omslachtigheid van de procedure en de hoge eisen die aan het team worden gesteld. Maar we moeten dr Jacques Testart in principe gelijk geven, toen hij amper vier jaar geleden in zijn boek *L'Oeuf transparent*, beschreven in *Natuur & Techniek* mei 1987, voorspelde dat het samengaan van een *médecine procréative* met een *médecine prédictive* zou leiden tot kinderen 'à la carte'.

Dr Peter Mombaerts
MIT, Cambridge, Mass., VS

Nijmeegse biofysici ontwikkelen lerende computer

In januari is de Stichting Neurale Netwerken opgericht. Deze stichting heeft tot doel onderzoek naar lerende computers (neurale netwerken) in Nederland te stimuleren. Initiatiefnemer en directeur is prof dr C. Gielen van de vakgroep biofysica van de Katholieke Universiteit Nijmegen.

Neurale netwerken zijn grote computersystemen. "Het verschil met een gewone computer zit hem in het kennen en het kunnen", aldus dr P. Johannesma, een medewerker van Gielen. "Een gewone computer kent en herkent alleen gegevens die er door iemand zijn ingestopt. Neurale netwerken daarentegen kunnen zelf iets leren, net als mensen."

De werking van lerende computers is te vergelijken met de werking van de hersenen. Een neurale netwerk is opgebouwd uit een aantal kunstmatige neuronen, die zijn te vergelijken met kleine elektronische versterkers. Deze zijn, net als de neuronen (zenuwcellen) in de hersenen, onderling op veel manieren verbonden. Door zo'n netwerk van hersencellen zijn mensen in staat om iets te leren, zoals bijvoorbeeld lopen en praten. Een lerende computer kan dit ook.

Om de computer iets te leren moet er, net als bij een kind, iemand zeggen wat goed gaat en wat fout is. Wanneer het netwerk iets goed doet, laat men de computer de verbindingen die hierbij zijn gebruikt, versterken; de signalen die de kunstmatige neuronen aan elkaar doorgeven worden versterkt en de weerstand van deze verbindingen neemt af. Na een fout moet de computer de gebruikte verbindingen verzwakken. Op deze wijze leert de computer fouten te vermijden. "Je kunt het vergelijken met mensen die samenwerken in een bedrijf", zegt Johannesma, "als ze goed werk leveren zet men de samen-

werking voort. Als het fout gaat, haalt men de mensen uit elkaar en laat men ze met iemand anders samenwerken."

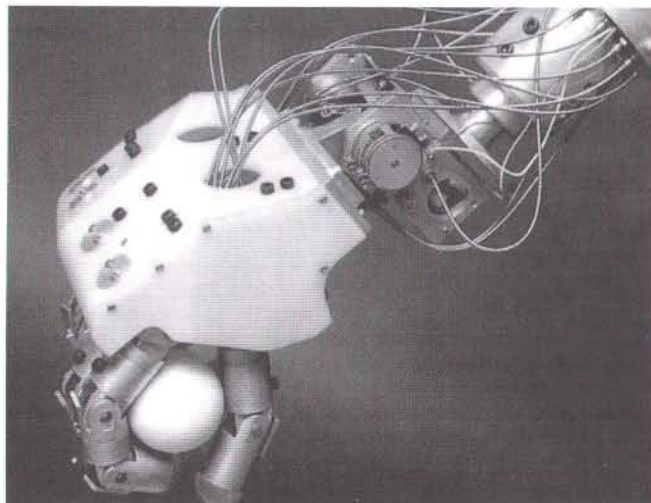
De vakgroep biofysica in Nijmegen neemt een vooraanstaande plaats in bij het onderzoek naar neurale netwerken in Nederland. Ongeveer eenderde van het budget van de SNN gaat hier naar toe. De groep houdt zich bezig met de fundamentele kant van het onderzoek. De onderzoekers trachten te begrijpen hoe de hersenen werken. Met die wetenschap bouwen ze neurale netwerken, die bepaalde taken net zo uitvoeren als de mens.

Robots

De vakgroep van Gielen werkt nauw samen met de afdeling Robotica van de Universiteit van Amsterdam. Deze afdeling wordt ook gesponsord door de SNN en is bezig met het maken van robots. De neurale netwerken die de Nijmeegse groep probeert te maken, zijn bedoeld om signalen van verschillende zintuigen te combineren. Bij bijna elke han-

deling die de mens uitvoert is die combinatie van groot belang. De Amsterdamse onderzoekers gebruiken de in Nijmegen ontwikkelde netwerken voor de besturing van hun robots. "Wanneer een robot een tomaat moet pakken, gebruikt de robot informatie vanuit diverse zintuigen", aldus dr B. Kappen, een andere medewerker van Gielen. De plaats waar de arm zich bevindt wordt doorgegeven door een zintuig in de arm zelf. Voor het vastpakken van de tomaat is nog een tweede zintuig nodig, namelijk de tast. Die zorgt ervoor dat de robot de tomaat, of een ei, stevig genoeg vastpakt zonder hem fijn te knijpen. Een camera ('oog') controleert bovendien de bewegingen van de arm.

Door een neurale netwerk te gebruiken voor de besturing, kan men de robot dingen leren. De eerste keer dat de robot de tomaat moet pakken, maakt hij een willekeurige beweging. Hierna en na elke volgende beweging wordt aangegeven of de arm de goede kant is opgegaan of niet. Het neurale netwerk zorgt ervoor dat



de arm bij elke poging dichter bij de tomaten komt. Na veel oefenen heeft de robot geleerd om elke beweging die men hem opdraagt in één keer goed uit te voeren.

Naast het gebruik van neurale netwerken voor de besturing van robots, zijn er nog vele andere toepassingen mogelijk. Zo onderzoekt men, onder andere in de Verenigde Staten, taalcomputers. Het neurale netwerk zorgt voor het omzetten van ingetypte tekst in voor de mens verstaanbare taal. Ook hierbij maakt het netwerk eerst veel fouten, maar na veel oefenen leert het de woorden goed uit te spreken.

Vanwege de vele toepassingsmogelijkheden heeft de industrie veel belangstelling voor neurale netwerken. In 1990 wordt de SSN dan ook voor een half miljoen gulden gesponsord door bedrijven. De sponsoring bestaat zowel uit geld als uit apparatuur. De verwachting is dat deze sponsoring door bedrijven zal toemen. De belangrijkste geldschietter is echter het SPIN (Stimulerings Projectteam Informatica-onderzoek), dat wordt gefinancierd door de ministeries van Onderwijs en Wetenschap en van Economische Zaken. De Stichting Neurale Netwerken heeft aan verschillende onderzoeksprojecten in totaal 3,5 miljoen gulden subsidie beschikbaar gesteld voor de komende vier jaar.

Marleen van der Ven
José Theunissen
Joost Roelse

Rectificatie

In het artikel *Gasvlammen belicht* in het meummer van Natuur & Techniek zijn in afb. 3 de aanduidingen in een onjuiste volgorde weergegeven. De juiste volgorde van boven naar beneden is: aardgas, steenkool, stookolie, overige brandstof, verkeer.

Laat ze maar praten

Richard P. Feynman, Laat ze maar praten, 194 blz., paperback. ISBN 90 6834 063 8 (Nederland). Prijs f 39,50, 790 F. Aramith Uitgevers, Amsterdam. In België geïmporteerd door Uitgeverij Contact, Edegem.

Onlangs verscheen bij Aramith Uitgevers de vertaling van het boek van Nobelprijswinnaar Richard P. Feynman *What do you care what other people think - Further adventures of a curious character*, onder de Nederlandse titel *Laat ze maar praten*.

Richard Feynman (1918-1988) behoort tot de grootste genieën van deze eeuw. Hij ontving in 1965 de Nobelprijs voor de natuurkunde voor zijn werk op het gebied van de quantumelektrodynamica (QED).

In 1988 overleed Richard Feynman aan kanker. Zijn vriend Ralph Leighton bundelde diverse verhalen die Feynman hem door de jaren heen vertelde, alsmede enkele brieven en een lezing. Daarmee is dit boek een vervolg op de eerder verschenen autobiografie *Heel geestig, meneer Feynman*.

Het boek *Laat ze maar praten* geeft een zeer aardig beeld van de auteur. In het eerste deel van het boek vertelt Feynman over diverse mensen die een belangrijke rol hebben gespeeld in zijn jeugd. Zo vertelt hij over zijn vader, die hem heeft geleerd kritisch te denken, zijn eerste afspraakje en het korte huwelijk met zijn eerste vrouw, Arlene. Het zijn verhalen die nauwelijks stilstaan bij Feynmans opleiding en werk, maar veel meer gaan over belevenissen en emoties die ieder mens meemaakt.

In enkele brieven van en over Feynman krijgt de lezer een goed beeld van deze persoon. Hij blijkt zeer opmerkzaam te zijn en weet zijn verblijf in diverse steden ori-

gineel te beschrijven. Zijn verslag van een ontmoeting met koning Boudewijn en koningin Fabiola en zijn onbekendheid met de hof-etiquette vind ik een hoogtepunt in het boek.

Het tweede deel van het boek wordt voornamelijk gevormd door een verslag van Feynmans deelname aan de commissie die de ramp van het ruimteveer Challenger onderzocht. In dit verhaal ontloopt Feynman, die dan reeds achter in de zestig is, zich als een gedreven en nieuwsgierig onderzoeker die verstrikt dreigt te raken in de bureaucratie van Washington en NASA. Met een zeker gevoel voor humor beschrijft de auteur zijn speurtocht naar de oorzaak van het ongeluk. Dit verhaal is zeer onderhoudend en de problemen waarmee het ruimteveer te kampen had, komen en passant op begrijpelijke wijze aan de orde.

Na een gekuisde versie van het laatste onderdeel van het rapport van genoemde commissie, Appendix F - Persoonlijke observaties over de betrouwbaarheid van een ruimteveer, besluit het boek met een lezing van Feynman uit 1955 voor de National Academy of Sciences. In deze lezing verwoordt Feynman gedachten en twijfels die bij hem zijn opgekomen onder andere na zijn werk aan het Manhattan-project. Alhoewel de lezing mij boeide, vond ik de plotselinge, serieuze beschouwing aan het einde van deze verhalenbundel verwarrend.

Laat ze maar praten bevat voor een groot deel luchtige verhalen waarin een actief en ondernemend natuurkundige wordt beschreven. Men hoeft geen natuurkundige te zijn om dit boek met plezier te lezen.

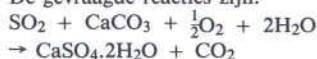
Erick Vermeulen

PRIJSVRAAG

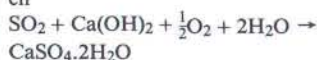
Oplossing mei

Ook deze maand heeft de professor zich door een berg met oplossingen moeten worstelen. Langs deze weg wil hij inzenders bedanken voor hun steunbetuiging en uitvoerige oplossingen.

De gevraagde reacties zijn:

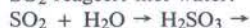


en



Tienduizend liter rookgas bevat 669,34 mol SO_2 . 95% Van het gevormde zwaveldioxyde moet worden verwijderd, oftewel 635,87 mol per uur en 1530 kg per dag. Dan wordt er elke dag ook $1,53 \cdot 10^3$ kg calciumcarbonaat gebruikt. De hoeveelheid gevormd gips komt overeen met $1,72 \cdot 1530 \text{ kg} = 2630 \text{ kg}$ gips per dag.

SO_2 reageert met water:



$$[\text{H}^+][\text{HSO}_3^-] = [\text{H}_2\text{SO}_3] =$$

$$10^{-2,15} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} =$$

$$[\text{H}^+]^2 / (669,225 / 5 \cdot 10^6 - [\text{H}^+]).$$

Uit deze vergelijking volgt, dat $[\text{H}^+]$ in het regenwater gelijk is aan $1,32 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. De pH van het regenwater is dan gelijk aan 3,88.

De heer W.H. Backer uit Woudenberg bereikte deze maand de top van onze laddercompetitie en won daarmee een jaarabonnement op Natuur & Techniek. De lootprijs, een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek, mag deze maand worden uitgezocht door Geert Haustrate uit Zottegem.

De nieuwe opgave

De professor vindt het wel prettig om in de zomer in de tuin te zitten en te genieten van het mooie weer. Daarbij mag hij graag een pak kaarten te voorschijn halen om spelletjes te doen.

Zo ontwikkelde hij op een zwoele

zomeravond het volgende kaartspel, dat hij speelt met zijn neef: op tafel liggen zestien kaarten: viermaal de aas (één punt), viermaal de 2 (twee punten), viermaal de 3 (drie punten) en viermaal de 4 (vier punten). Beide spelers kunnen de cijfers van de kaarten zien. Beurtelings nemen zij een kaart.

Als het aantal punten op de door beiden gekozen kaarten 21 bedraagt, dan wint diegene die de laatste kaart heeft genomen. Overschrijdt het totale aantal punten 21, dan verliest de speler die de laatste kaart heeft genomen. De professor laat zijn neef beginnen. Wie van de twee kaarters wint bij optimale strategie en hoe?

De Stichting Wiskunde Olympiade Nederland stelde deze opgave ter beschikking van de puzzelredactie. De oplossingen verwacht de puzzelredactie uiterlijk 20 augustus 1990 op het adres:

Natuur & Techniek

Puzzelredactie

Postbus 415

6200 AK MAASTRICHT

Onder de inzenders van de juiste oplossing zal de puzzelredactie een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek verloten. Bovendien worden alle goede en deels goede oplossingen beloond met een aantal punten voor de laddercompetitie.

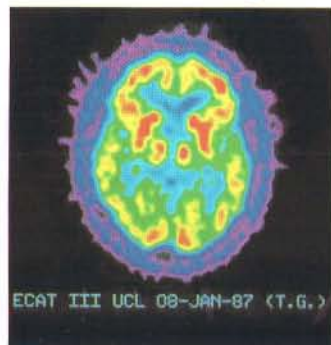


VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

Visserij

Dr D. Brinkhuizen

Botten die bij archeologische opgravingen in natte bodems tevoorschijn komen, zijn grotendeels afkomstig van grote en middelgrote zoogdieren. Wie echter met een fijne zeef te werk gaat ontdekt ook visresten, die vertellen over de viswereld in het verleden en de wijze waarop de mens daar gebruik van maakte.

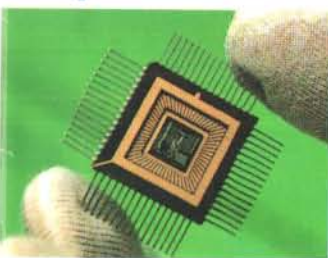


Geleiding

Drs J. Masschelein

Radio en televisie, telefoon, computers, machines, auto's en zelfs een veilige fietstocht bij nacht, zijn eenvoudigweg onmogelijk zonder elektrische geleiding. Dit boeiende fenomeen

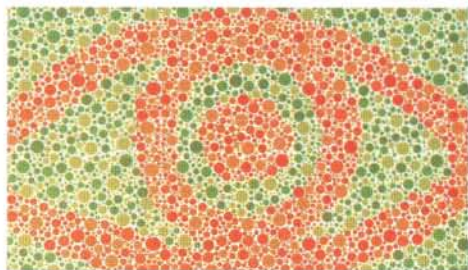
vergt niet meer dan een potentiaalverschil en vrije, beweegbare ladingdragers, maar beheerst elk moment van de dag ons moderne, westerse leven. Lees over de principes van dit verschijnsel.



Bloembezoek

Dr M. Kwak

Een insect dat op zoek naar nectar van bloem tot bloem vliegt, moet kiezen: welke bloemen uit het enorme aanbod zal hij bezoeken. De veronderstelling dat een insect zo min mogelijk energie zal besteden aan bloembezoek, maar er zo veel mogelijk energie uit wil halen, kan de keuze van het dier verklaren.



Radiotherapie

Prof dr H.A. van Peeperzel

Na de ontdekking van röntgen- en gammastraling, nu bijna honderd jaar geleden, constateerden de stralingspioniers al snel dat er in levend weefsel na bestraling iets verandert, en dat dat bij patiënten soms gunstig en soms nadelig uitpakt. Met vallen en opstaan hebben radiotherapeuten geleerd straling toe te passen in de geneeskunde, met name als wapen tegen tumoren.

Kleurenblind

Dr E. Vervaeke

De oogarts Huddart onderzocht in 1776 mensen die geen kleuren konden waarnemen. Over een oranje strook papier meende één van hen: 'Dit is de kleur van gras; dit is groen.' Wetenschappers hebben zich eeuwenlang gebogen over onze waarneming van kleuren. Dat onderzoek leidde tot steeds weer nieuwe verklaringen voor kleurzien, wat niet iedereen op gelijke wijze kan.



M'n bladen zeggen zoveel over mezelf...

Hij zou misschien met één vakblad kunnen volstaan. Maar zo zit hij niet in elkaar. Hij baseert z'n eigen visie liefst op uiteenlopende commentaren van anderen. En hij wil absoluut zeker weten dat hij geen brokje informatie, geen enkel nieuwtje mist. Dus gebruikt zoveel mogelijk bronnen en neemt de onvermijdelijke dublures graag voor lief. Zelf leest hij de bladen van de branches onder en boven hem in de bedrijfskolom. Want, zegt hij altijd, daar komt de business vandaan en daar gaat de business naar toe...



'N BLAD IS EEN RELATIE.